

# DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE TRANSPORTE ROBOTIZADO TIPO AGV PARA EL TRANSPORTE DE BOTELLAS PALETIZADAS

Tomo 1: Memoria

Alumno: Ricard Rius Herraiz

Director: Joan Torres Tomàs

Titulación: Ingeniería Industrial

Fecha: Barcelona, Septiembre de 2015



## Presentación.

El siguiente proyecto hace referencia a la automatización de un proceso de transporte de unidades paletizadas el cual ha sido desarrollado previamente de forma manual. Las unidades de carga a transportar son packs de 500 o 840 botellas de cava Codorniu. Éstas son transportadas desde la salida del proceso de paletización a las vagonetas encargadas de bajar las botellas a las cavas para llevar a cabo el proceso de maduración.

El diseño del proyecto y la integración en el entorno han sido el mayor objeto de estudio, puesto que las instalaciones del proceso a automatizar tienen más de 50 años de antigüedad. Se ha realizado una adecuación de los elementos de la instalación antigua que interfieren con el proceso de transporte robotizado con los requerimientos técnicos necesarios y de la forma menos intrusiva posible.

El siguiente estudio corresponde a un proyecto industrial realizado profesionalmente en el departamento de ingeniería y proyectos de División Industrial Artisteril S.A. Así pues, la elección del AGV (Vehículo Guiado Automáticamente) a implantar se ha visto restringida a la gama de vehículos que la empresa ofrece al mercado.

La elección del AGV más adecuado así como del conjunto de elementos necesarios que permiten la automatización del proceso en cuestión se ha realizado a partir de los tiempos de ciclo de embotellado, tipo de carga a manipular así como del *layout* o estudio de emplazamiento en el que se incluye un análisis de trayectorias.

Durante el estudio se ha realizado el diseño de los caminos o segmentos de transporte que los AGVs han de realizar, la programación de las maniobras de carga y descarga y una simulación de la instalación con el sistema de gestión de tráfico adecuadamente configurado.

Finalmente se ha realizado una planificación y definición del conjunto de fases en las cuales se estructura el diseño, implantación y puesta en marcha de la instalación AGV el cual se complementa con el estudio económico y el análisis medioambiental.



## Sumario.

<b>PRESENTACIÓN.</b>	<b>3</b>
<b>SUMARIO.</b>	<b>5</b>
<b>1. GLOSARIO.</b>	<b>11</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.</b>	<b>13</b>
2.1. Descripción del proyecto.....	13
2.2. Situación de partida. ....	14
2.3. Objetivo de la instalación de transporte automatizado.....	15
2.4. Alcance del proyecto.....	16
2.5. Contenido del documento.....	17
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN Y TRANSPORTE DE LOS PACKS DE BOTELLAS.</b>	<b>19</b>
<b>4. CICLO NECESARIO PARA AUTOMATIZAR EL TRANSPORTE DE LOS PACKS.</b>	<b>25</b>
4.1. Proceso de carga o ‘pick’.....	25
4.2. Proceso de transporte.....	25
4.3. Proceso de descarga o ‘drop’.....	26
<b>5. SISTEMAS EXISTENTES EN EL MERCADO PARA EL TRANSPORTE DE CARGAS PALETIZADAS.</b>	<b>27</b>
<b>6. CRITERIOS DE ELECCIÓN DEL AGV Y MODELOS ARTISTERIL EXISTENTES EN EL MERCADO.</b>	<b>29</b>
6.1. Selección del AGV. Criterios más importantes.....	29
6.1.1. Geometría de la carga.....	29
6.1.2. Emplazamiento y geometría de las posiciones de pick y de drop.....	29
6.1.3. Masa de la carga.....	30
6.1.4. Cadencia de transporte.....	30
6.1.5. Precisión.....	30
6.1.6. Fiabilidad.....	30
6.1.7. Flexibilidad.....	30
6.1.8. Sistema de navegación.....	31
6.2. Modelos de AGV Artisteril existentes en el mercado.....	31
6.2.1. AGV RT-500.....	31

6.2.2.	AGV TR-2000 .....	32
6.2.3.	AGV TR-1000R .....	32
6.2.4.	AGV DS-1000 .....	32
6.2.5.	AGV RX-07 .....	33
6.2.6.	AGV EGV-S20 .....	33
6.2.7.	AGV EXD-SF .....	33
6.2.8.	AGV FMX .....	34
<b>7.</b>	<b>SELECCIÓN DEL AGV, ESTUDIO DE ACCESIBILIDAD A LAS POSICIONES DE PICK Y DROP. ....</b>	<b>35</b>
7.1.	Tipo de carga .....	35
7.2.	Masa de la carga .....	37
7.3.	Estudio de accesibilidad a las posiciones de carga y descarga .....	37
7.3.1.	Maniobrabilidad del AGV. Estudio en planta .....	38
7.3.2.	Altura de los puntos de pick y drop .....	40
7.3.3.	Accesibilidad de los estabilizadores a las mesas de carga y vagones de descarga, estudio en alzado .....	41
7.4.	Sistema de navegación .....	42
<b>8.</b>	<b>AGV ARTISTERIL SELECCIONADO .....</b>	<b>43</b>
8.1.	Características más relevantes del AGV .....	44
8.2.	Características más relevantes del armario de control .....	46
8.3.	Sistema de navegación .....	47
8.4.	Herramientas y método de programación .....	48
<b>9.</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN .....</b>	<b>50</b>
9.1.	Dimensionamiento L1 .....	50
9.2.	Dimensionamiento L2 .....	52
9.3.	Resultado del dimensionamiento .....	53
<b>10.</b>	<b>MODIFICACIONES MECÁNICAS DEL AGV Y DISEÑO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DE LA INSTALACIÓN .....</b>	<b>54</b>
10.1.	Orientación de los packs de botellas en las posiciones de carga .....	54
10.2.	Modificación de las horquillas del AGV EGV-S20 .....	56
10.2.1.	Análisis de la modificación de las horquillas mediante el método de los elementos finitos .....	56
10.2.2.	Análisis de las soldaduras .....	60
10.3.	Diseño alternativo del conjunto de detección de carga .....	60
10.4.	Suplementos verticales para los vagones .....	61

10.5. Sistema de guiado para el acceso y paro de los trenes a las posiciones de descarga.....	64
10.5.1. Estudio de las trayectorias de acceso a las posiciones de descarga .....	64
10.5.2. Diseño y ubicación de las guías mecánicas para el acceso de los trenes a las posiciones de descarga. ....	66
10.5.3. Diseño y ubicación de los resaltes para la parada de los trenes. ....	68
10.6. Ubicación de los reflectores en el área de trabajo.....	70
10.7. Intercambiador rápido para baterías.....	73
<b>11. SEÑALES ELÉCTRICAS NECESARIAS PARA LA AUTOMATIZACIÓN. ELEMENTOS DE DETECCIÓN Y SEÑALIZACIÓN.</b> .....	<b>74</b>
11.1. Señales de entrada .....	74
11.1.1. Mesas de transferencia .....	74
11.1.2. Trenes de descarga.....	75
11.2. Señales de salida.....	76
11.2.1. Mesa de transferencia .....	76
11.2.2. Posición de los vagones de los trenes.....	76
11.2.3. Semáforos de acceso a las posiciones de descarga para los trenes manuales.....	77
11.2.4. Girofaro de error en la instalación.....	77
11.3. Posición de carga automática.....	78
11.4. Armario de control de la instalación. Ubicación de los elementos de campo. Cableado. ....	79
11.4.1. Elementos del armario de control. ....	79
11.4.2. Ubicación de los elementos de campo. ....	79
11.4.3. Paso de cables .....	80
<b>12. DESCRIPCIÓN DEL INTERFAZ DE COMUNICACIONES.</b> .....	<b>82</b>
<b>13. DEFINICIÓN DEL LAYOUT.</b> .....	<b>83</b>
13.1. Introducción al LDK.....	83
13.2. Definición geométrica y técnica del AGV .....	83
13.3. Entidades LDK .....	84
13.3.1. Caminos o Paths .....	84
13.3.2. Curvas o Pturns .....	84
13.3.3. Estación o Location. ....	85
13.3.4. Reflectores o Targets .....	86
13.3.5. Segmentos.....	86
13.4. Compilación y exportación a ACE2000 .....	87

13.5. Modificación del layout .....	87
13.6. Definición del Layout para el transporte de botellas paletizadas. ....	88
<b>14. DEFINICIÓN DE MANIOBRAS DE PICK Y DROP. ....</b>	<b>90</b>
14.1. Maniobras de carga .....	90
14.2. Maniobras de descarga .....	91
<b>15. SISTEMA DE GESTIÓN DE TRÁFICO TRAM. SIMULACIÓN DE LA INSTALACIÓN. ....</b>	<b>93</b>
15.1. Configuración del TRAM .....	93
15.1.1. Señales de entrada y salida. ....	93
15.1.2. Asignación de trabajos. ....	95
15.1.3. Bloqueos.....	96
15.2. Simulación .....	97
15.3. Visualización.....	100
<b>16. SEGURIDADES .....</b>	<b>101</b>
<b>17. PLANIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN. ....</b>	<b>104</b>
17.1. Fases del proyecto. ....	104
17.1.1. Oferta.....	105
17.1.2. Aceptación del proyecto. ....	106
17.1.3. Diseño.....	106
17.1.4. Lanzamiento. ....	106
17.1.5. Preinstalación. ....	106
17.1.6. Instalación y puesta en marcha .....	107
17.1.7. Aceptación de la instalación .....	107
<b>18. ESTUDIO ECONÓMICO .....</b>	<b>108</b>
18.1. Alcance del suministro.....	108
18.2. Test de aceptación. ....	109
18.3. Asistencia.....	109
18.4. Límites del suministro. ....	110
18.5. Plazos de entrega.....	110
18.6. Garantía .....	110
18.7. Oferta económica. ....	111
18.8. Condiciones de pago.....	111
18.9. Presupuesto.....	111
<b>19. IMPACTO ECONÓMICO Y RETORNO DE INVERSIÓN. ....</b>	<b>113</b>



19.1. Desglose de costes.....	113
19.2. Impacto económico.....	113
19.3. Retorno de la inversión. ....	114
19.4. Propuesta de financiación.....	115
<b>20. IMPACTO AMBIENTAL DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN.</b>	<b>116</b>
20.1. Impacto ambiental del robot Artisteril AGV EGV-S20. ....	116
20.2. Materiales en los cuales han sido fabricados los elementos de la instalación. ....	116
20.2.1. Robot Artisteril AGV EGV-S20. ....	117
20.2.2. Armario de control. ....	117
20.2.3. Elementos de campo.....	117
20.3. Procedimiento para el desecho de materiales o sustancias peligrosas....	118
20.4. Componentes con requerimientos especiales antes de ser desechados.	118
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>119</b>
<b>LISTA DE REFERENCIAS.</b> .....	<b>121</b>



## 1. Glosario.

- *AGV: Automated Guided Vehicle (Vehículo Guiado Automáticamente).*
- *PLC: Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable).*
- *PDP: Pick and Drop Positions (Posiciones de carga y descarga).*
- *LGV: Laser Guided Vehicle (Vehículo Guiado mediante tecnología Láser).*
- *LDK: Layout Definition Kit (Kit de Definición del Layout).*
- *TRAM: Traffic and AGV Management (Gestión de tráfico y AGVs).*



## **2. Introducción.**

### **2.1. Descripción del proyecto.**

El objetivo del siguiente proyecto es la automatización de un proceso de transporte de unidades paletizadas de botellas de cava el cual ha sido desarrollado previamente de forma manual.

El siguiente estudio corresponde a un proyecto industrial realizado profesionalmente en el departamento de ingeniería y proyectos de División Industrial Artisteril S.A.

En la instalación se han implantado vehículos AGV para el transporte de las cargas, debido al marco en el que se ha realizado dicho proyecto se ha restringido la elección del tipo de robot a la gama de AGVs Artisteril existentes en el mercado.

## 2.2. Situación de partida.

La automatización del transporte de botellas paletizadas se inicia una vez el cliente ha desarrollado con éxito el transporte de dichas cargas de forma manual y en el cual se ha utilizado un trabajador por turno al mando de una carretilla. Los transportes realizados tienen como origen la salida a través de dos mesas de rodillos de la planta embotelladora de cava. Los distintos destinos de los transportes son los vagones con ruedas remolcados por un tractor encargado de bajar las botellas a las cavas para su correspondiente maduración.

La variabilidad de la carga de trabajo de dicho operario genera tiempos muertos entre transportes. Esto es debido a que el flujo de salida de la planta embotelladora no es siempre el máximo por circunstancias de la producción, como por ejemplo cambios de producto. Esta variabilidad de la carga de trabajo produce a su vez desajustes en los tiempos de ciclo de los transportes por factor humano. Se decide la implantación de AGVs que permitan la automatización de dichos transportes para tener un mayor control de la producción.

Las restricciones impuestas por el cliente, a parte de las sobreentendidas para este tipo de instalaciones, son las siguientes:

- La instalación ha de ser capaz de transportar el mismo flujo de packs que salen de las líneas de embotellado cuando éstas están produciendo a capacidad máxima, un total de 42,8 packs/h.
- Preservar al máximo los elementos de la instalación en contacto con los AGVs, como por ejemplo, la geometría de los carros destino o las mesas de rodillos origen.
- El peso máximo que ha de poder transportar el AGV ha de ser de 1380Kg correspondiente al pack de botellas estándar.
- El área de trabajo de los AGVs está limitada y condicionada por la producción y en cualquier caso no puede rebasar los límites establecidos en el layout.

## 2.3. Objetivo de la instalación de transporte automatizado.

El objetivo la instalación de transporte robotizado es la automatización del transporte desde la salida de las dos líneas de embotellado hasta los carros que bajan a las cavas de los packs de botellas correspondientes a los distintos tipos de cava que ofrece la casa Codorniu.



*Fotografía 2.3.1 Pack de botellas estándar Codorniu*

La instalación tiene como objetivo producir toda la demanda de cava Codorniu prevista a nivel mundial. La previsión media de demanda de botellas es de 7000 packs mensuales.

Mediante la automatización del proceso transporte se desean conseguir los siguientes objetivos:

- Aumento del control sobre los tiempos de ciclo de los transportes de los packs de botellas y sobre la producción en general respecto a la situación actual de transporte manual.
- Reducción de costes de producción. Al automatizar el transporte de los packs, se reducen tanto los costes de personal como los costes debidos a las mermas producidas por accidentes de carretillas.
- Disminución de los riesgos de accidente en el transporte por el factor humano. Con la automatización del proceso se reducen prácticamente en su totalidad los riesgos inherentes a la manutención con carretilla, evitando riesgos de atropello, caída de la carga y atrapamiento, etc.

## 2.4. Alcance del proyecto.

El presente documento abarca los siguientes aspectos:

- Elección del AGV Artisteril más adecuado para el transporte en cuestión a partir del peso de la carga a transportar, la geometría de la misma, la geometría, ubicación y entorno de las PDP (posiciones de carga y descarga), impacto en el entorno de la instalación de la tecnología de guiado, así como del estudio *layout* o estudio del recorrido y trayectorias en el que se incluye un análisis de accesibilidad a las PDP.
- Dimensionamiento de la instalación. En este estudio se determina el número de AGVs necesarios para garantizar el cumplimiento del tiempo de ciclo deseado.
- Diseño y validación de las modificaciones mecánicas necesarias tanto en el AGV como en el entorno de la instalación para llevar a cabo el transporte de botellas paletizadas.
- Diseño y elección del conjunto de elementos de campo necesarios que permiten la automatización del proceso de transporte.
- Diseño e implementación de las trayectorias y maniobras del AGV, con la posterior parametrización del sistema de gestión de tráfico.
- Diseño de la simulación de la instalación mediante el sistema de gestión del tráfico
- Análisis de seguridades e implementación de los elementos de seguridad necesarios para dotar al AGV del nivel de seguridad más adecuado para la instalación correspondiente a la normativa sobre maquinaria industrial vigente.
- Diseño de los planos mecánicos y eléctricos correspondientes.
- Planificación y definición del conjunto de fases en las cuales se estructura el diseño, implantación y puesta en marcha de la instalación.
- Estudio económico.
- Impacto ambiental.



## 2.5. Contenido del documento.

Las etapas que se han seguido para la ejecución y desarrollo del proyecto son las siguientes:

- Descripción del proceso de transporte a automatizar.
- Estudio del ciclo necesario para automatizar el transporte de los packs.
- Selección del AGV.
- Estudio de emplazamiento del AGV.
- Dimensionamiento de la instalación.
- Diseño de las modificaciones mecánicas necesarias del AGV.
- Diseño de los elementos mecánicos de la instalación.
- Elección de los elementos de detección y señalización.
- Programación de los caminos, estaciones, maniobras de giro y segmentos.
- Descripción y parametrización del programa de gestión de tráfico. Simulación de la instalación.
- Diseño e implementación de los elementos de seguridad integrados en los AGVs.
- Planificación temporal de la automatización del transporte de packs de botellas.
- Estudio económico de la instalación.
- Impacto ambiental de la instalación.



### 3. Descripción del proceso de producción y transporte de los Packs de botellas.

El proceso de embotellado del cava se realiza mediante dos líneas embotelladoras, la Línea 1 y la Línea 2. Mediante la Línea 1 se producen las botellas estándar, que corresponden a la mayor parte de la producción. En la Línea 2 es más flexible que la anterior y en ella se producen, además de las estándar producidas en la Línea 1, botellas especiales de distinto tamaño.

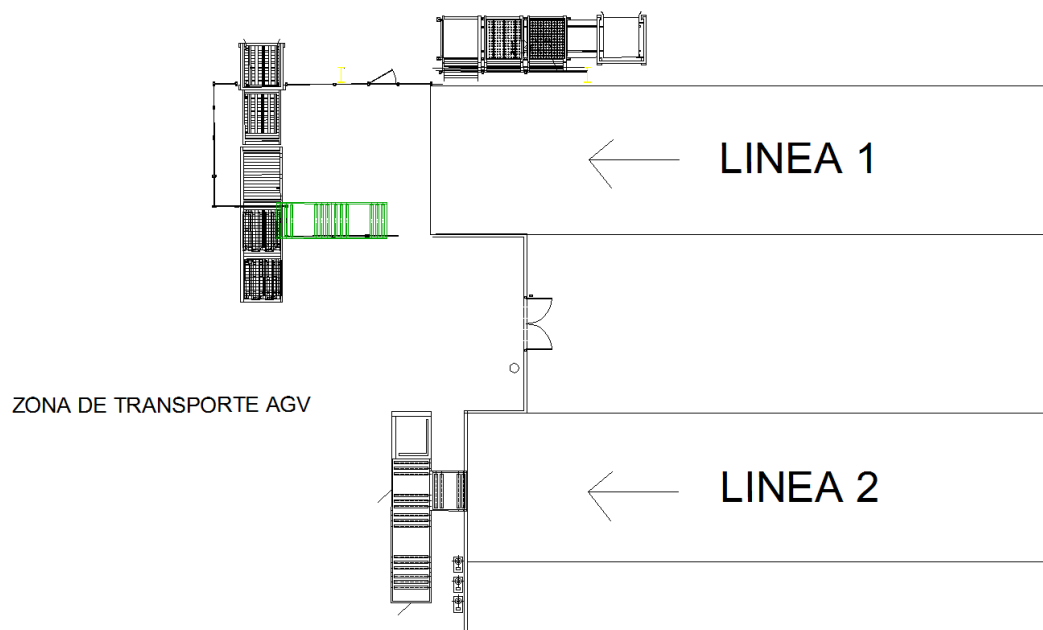


Figura 3.1 Ubicación en planta de las líneas de producción.

Las características productivas de las dos líneas son las siguientes:

#### Línea 1:

- Tipo de botella: Estándar
- Capacidad máxima de producción: 20000 botellas/h
- Capacidad máxima de packs de botellas: 23,81 packs/h
- Entrega: Mesa de rodillos altura 320 mm



*Fotografía 3.2 Mesa de rodillos de entrega L1*

### **Línea 2:**

- Tipo de botella: Especial
- Capacidad máxima botella especial: 9500 botellas/h
- Capacidad máxima de packs de botellas: 19 packs/h
- Entrega: Mesa de rodillos altura 495 mm



*Fotografía 3.3 Mesa de rodillos de entrega L2*

Una vez el cava es embotellado, es necesario hacer los packs paletizados de botellas. Para ello, las dos líneas de embotellado disponen en su salida un sistema semi-automático de embalaje capaz de disponer 840 o 500 botellas según su tipo encima de una base tipo europalet y de dimensiones parecidas.

Las características y geometría de cada tipo de Pack son las siguientes:

**Pack Estándar:**

- Botellas por Pack: 840 botellas estándar
- Dimensiones (l x a x al): 1290x1220x1230 mm
- Peso: 1380 Kg

**Pack Especial:**

- Botellas por Pack: 500 botellas especial
- Dimensiones (l x a x al): 1060x1060x1210 mm
- Peso: 1150 Kg

En el proceso productivo, los Packs son sacados de cada línea de embalaje de uno en uno mediante un volteador que los posiciona en una mesa de rodillos. En condiciones de capacidad de producción máxima, sale un Pack de cada línea aproximadamente cada 2 minutos. Los packs quedan dispuestos en las mesas de forma que los operarios al mando de carretillas con horquillas puedan cargarlos con facilidad, transportarlos unos metros hasta la zona donde los trenes-remolque están estacionados y depositarlos encima de cada uno de los vagones que tiene cada tren.



*Fotografía 3.6 Tren remolque L1 cargado*

Los trenes remolque contienen las posiciones de descarga de los transportes estudio del proyecto. Conducidos por un vehículo de manutención tipo tractor, son los encargados de

bajar los Packs de botellas de cava a las bodegas donde llevarán a cabo el proceso productivo de la segunda fermentación. Hay dos tipos de tren según en la línea que trabajen. Cada tren tiene como remolque 6 vagones de cuatro ruedas cada uno. Cada vagón tiene una superficie plana de madera encima de la cual se transportan los Packs de botellas. Puesto que en el trayecto de bajada a las cavas los trenes han de circular por rampas con cierta inclinación, los vagones disponen en la parte anterior de un refuerzo vertical para evitar el desplazamiento o vuelque durante la marcha.



*Fotografía 3.7 Vagón tren L1*

Los vagones de los trenes de L1 tienen una altura de transporte de 430mm, mientras que los vagones de la línea 2 tienen una altura de 520mm.

Existen 4 posiciones de espera para los trenes. Dos de ellas para L1 y dos más para L2. La ubicación en planta de cada una de ellas es la siguiente:

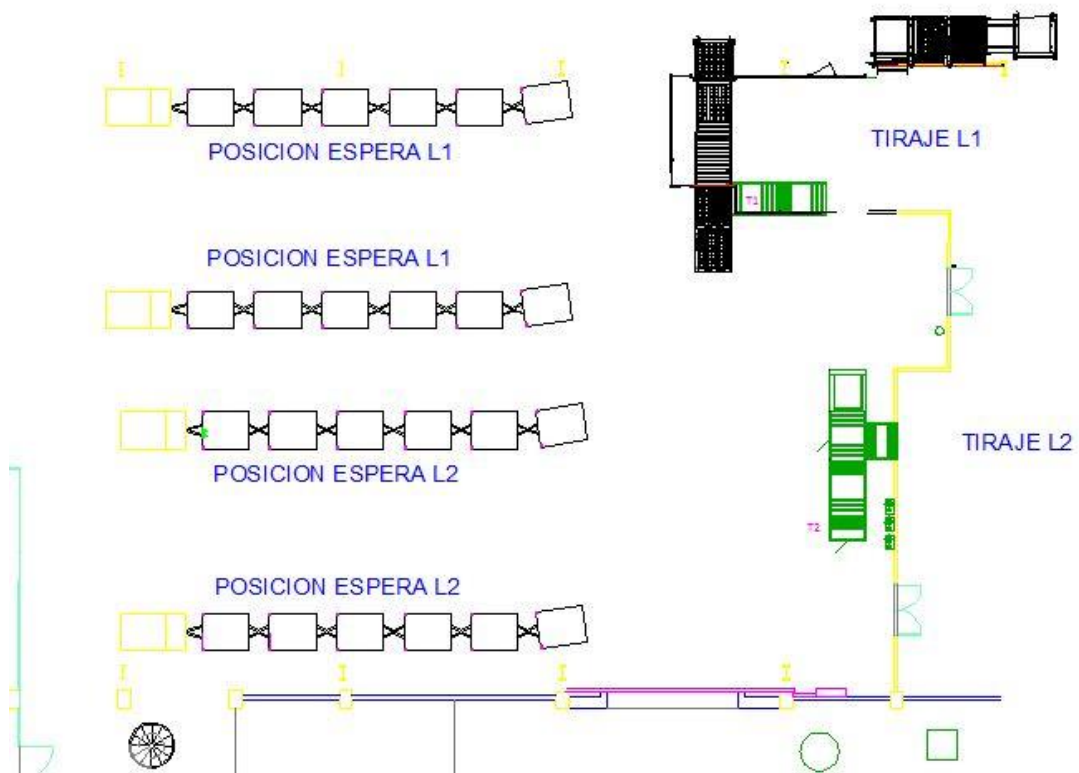


Figura 3.10 Emplazamiento posiciones espera L1 y L2

La repetitividad en el posicionamiento en los puestos de espera de los trenes es muy baja debido a que éstos son conducidos por un operario. La mejora de este factor será un punto clave del proyecto, ya que es necesario que las posiciones de descarga tengan siempre las mismas coordenadas con una precisión milimétrica.





## 4. Ciclo necesario para automatizar el transporte de los Packs.

El transporte a automatizar en el proceso productivo objeto de estudio de este proyecto es el trayecto que realizan los packs desde la salida de las dos líneas de embotellado hasta los correspondientes vagones de los trenes.

Para poder entender el ciclo y llevar a cabo su automatización, es necesario tener en cuenta las partes que forman la secuencia del transporte.

### 4.1. Proceso de carga o ‘pick’.

El proceso de carga o pick es la primera acción que la instalación automática debe ser capaz de realizar. En éste, la unidad de carga pasa de la posición de entrega de la línea productiva o posición de *buffer* al sistema automático mediante una transferencia, deposición o elevación de la misma. El factor clave que define un buen proceso de carga es el correcto posicionamiento de la unidad de carga en cada ciclo.

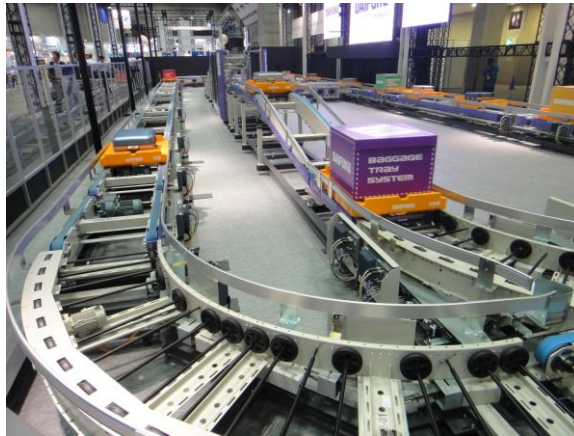


Fotografía 4.1.1 AGV Egemin en proceso de pick

### 4.2. Proceso de transporte.

Posterior al picking, en el proceso de transporte se lleva la unidad de carga desde el punto de carga hasta la posición de descarga. El proceso de transporte define las trayectorias que ha de seguir la unidad de carga. La optimización del recorrido y la velocidad de la

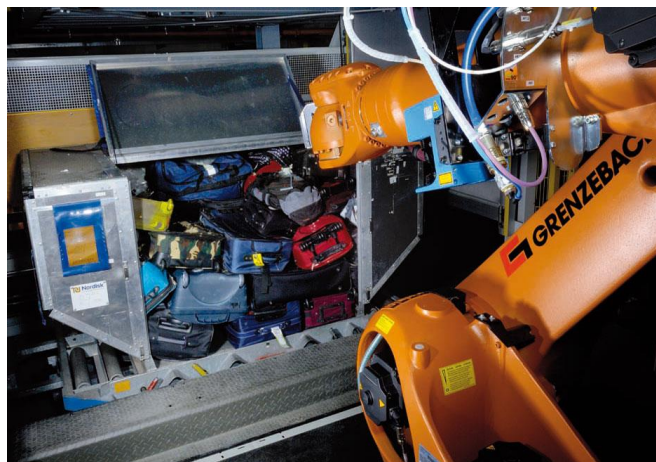
unidad de carga en el transporte es fundamental para lograr un tiempo de ciclo lo más corto posible, siempre y cuando se garantice la integridad de la carga.



*Fotografía 4.1.2 Sistema de transporte interno DAIFUKU en proceso de transporte*

### **4.3. Proceso de descarga o ‘drop’.**

El proceso de descarga o ‘drop’ es la acción contraria y complementaria al pick visto anteriormente. En ella, la carga es depositada en la posición de descarga. El factor que define una buena maniobra de drop vuelve a ser, como en el caso del pick, la precisión en la deposición de la unidad de carga, sobre todo si a su vez se trata también de una posición de pick.



*Fotografía 4.1.3 Brazo articulado GRENZBACH BSH en proceso de drop*

## 5. Sistemas existentes en el mercado para el transporte de cargas paletizadas.

Para poder automatizar un proceso de transporte de cargas paletizadas existen dos tipos fundamentales de sistemas, los de elementos fijos como, por ejemplo, mesas de transferencia con cadenas o rodillos y los móviles, como por ejemplo, los LGVs (Laser Guided Vehicles).

Los sistemas de elementos fijos son idóneos para aplicaciones donde la trayectoria que ha de seguir la carga es siempre la misma, las distancias de transporte no son excesivamente largas y las posiciones de carga y descarga son únicas o son pocos puntos. Son sistemas con poca flexibilidad, en los que los cambios de emplazamiento del recorrido suelen conllevar costosos estudios y nuevas instalaciones. A demás, obstaculizan la zona de la trayectoria de la carga de forma permanente. Por otra parte, su tecnología de control y sus elementos mecánicos son relativamente sencillos y llevan muchos años implementándose en todo tipo de industrias. También son sistemas altamente precisos en los que las tolerancias en la trayectoria de los transportes son muy pequeñas.



Figura 5.1 Sistema de transporte automatizado de elementos fijos para cargas paletizadas

En cambio, los sistemas móviles son sistemas altamente flexibles, puesto que los cambios en la trayectoria de la carga en la mayoría de aplicaciones son modificaciones relativamente sencillas. Existen incluso algunas aplicaciones, como por ejemplo, el guiado láser, cuya trayectoria es completamente virtual, es decir, no existe ningún elemento físico que la defina. Por lo tanto, un cambio de emplazamiento de la trayectoria significaría única y exclusivamente una modificación de la programación de las máquinas. En la mayoría de las aplicaciones, la precisión en el transporte es muy buena. Por otro lado, la tecnología de control precisa, en la mayor parte de los casos, elementos costosos, y en algunas aplicaciones la programación de las máquinas se ha de adaptar a cada proyecto.



*Figura 5.2 Sistema de transporte automatizado móvil tipo LGV para cargas paletizadas*

El motivo fundamental por el que para este proyecto se escoge un sistema de transporte robotizado móvil es la necesidad de no obstaculizar permanentemente los alrededores de la zona de entrega de línea, debido al tráfico de los mismos trenes-remolque cuyos vagones son la posición de descarga del proyecto, además de otros vehículos que conviven en la instalación.

## **6. Criterios de elección del AGV y modelos Artisteril existentes en el mercado.**

### **6.1. Selección del AGV. Criterios más importantes.**

Para la selección del AGV se deben tener en cuenta los siguientes criterios fundamentales:

#### **6.1.1. Geometría de la carga**

La geometría de la carga reside en la forma que tienen el conjunto de elementos que forman la carga junto a la posición de su centro de masas.

Para definir el mejor modo de transporte y evitar posibles conflictos mecánicos es necesario conocer perfectamente la geometría de la carga. Se ha de tener en cuenta el libre acceso del AGV a la carga y los puntos de contacto entre el AGV y la carga han de quedar completamente definidos para que el sistema sea mecánicamente estable.

#### **6.1.2. Emplazamiento y geometría de las posiciones de pick y de drop**

El emplazamiento de las posiciones de carga y descarga es la ubicación física en el *layout* de la instalación y su espacio próximo alrededor.

Es imprescindible conocer la situación de los puntos de carga y descarga de la instalación de transporte robotizado. La cota de altura respecto del suelo de las posiciones suele ser determinante a la hora de escoger el robot, puesto que el diseño de cada modelo condiciona notablemente su altura alcanzable.

El acceso del AGV a las posiciones de carga y descarga también ha de ser acorde a las prestaciones del robot.



### **6.1.3. Masa de la carga**

La masa de la carga es la medida de la cantidad de materia que posee la misma. La capacidad de carga de los AGV se mide en kilogramos o toneladas. La capacidad de carga de los AGV está condicionada por la resistencia de los elementos estructurales que lo forman.

### **6.1.4. Cadencia de transporte**

La cadencia de transporte del AGV es el número de transportes que el AGV puede realizar por unidad de tiempo. En su definición intervienen la velocidad máxima del vehículo, la trayectoria del recorrido, la distancia del recorrido y los tiempos de carga y descarga del AGV.

### **6.1.5. Precisión**

La precisión del AGV la determina la diferencia longitudinal entre la trayectoria real que describe la máquina y la trayectoria teórica que debería describir. La precisión determina, por tanto, la repetitividad en el recorrido y en las maniobras. Está altamente relacionada con las tolerancias geométricas entre el AGV, la geometría de la carga y la geometría de las posiciones de carga y descarga.

### **6.1.6. Fiabilidad**

La fiabilidad es la probabilidad de que el AGV funcione correctamente durante un periodo de tiempo correspondiente a la vida útil de la máquina bajo las condiciones de trabajo específicas requeridas por la instalación.

### **6.1.7. Flexibilidad**

La flexibilidad del sistema de navegación de un AGV es la facilidad técnica de realizar modificaciones en la trayectoria del recorrido de la instalación considerando también el coste asociado a ese cambio.

### 6.1.8. Sistema de navegación

El sistema de navegación del AGV es la tecnología del conjunto de elementos internos y externos a éste que permite el guiado del vehículo por una trayectoria determinada. Como se puede apreciar en la figura 6.1.8.1, en muchos proyectos existe una correlación entre este criterio y algunos de los comentados anteriormente:

	Banda Óptica / Magnética	Sistema Inductivo	Referencia por puntos Magnéticos	Referencia por Reflectores	Referencia por Contornos
<b>Inversión</b>	+	+++++	++++	++++	++++
<b>Costes Mantenimiento</b>	++	+++++	+++	+++	+++
<b>Costes Instalación</b>	++	+++++	++++	+++	+++
<b>Flexibilidad</b>	++	++	+++	++++	+++++
<b>Cadencia</b>	++	+++	+++++	+++++	++++
<b>Precisión</b>	++	++	++++	++++	+++
<b>Fiabilidad</b>	+++	+++	+++++	+++++	++

Figura 6.1.8 Tabla de criterios según sistema de navegación

## 6.2. Modelos de AGV Artisteril existentes en el mercado

### 6.2.1. AGV RT-500

- Capacidad de carga: 500 Kg
- Altura de Carga/Descarga: 0 m
- Velocidad máxima: 1 m/s
- Precisión: +-15 mm
- Sistema de navegación: Banda magnética



Fotografía 6.2.1 AGV RT-500

### 6.2.2. AGV TR-2000

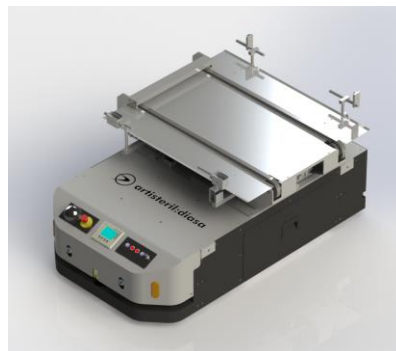
- Capacidad de carga: 2000 Kg
- Altura de Carga/Descarga: 0 m
- Velocidad máxima: 1 m/s
- Precisión:  $\pm 15$  mm
- Sistema de navegación: Banda magnética



Fotografía 6.2.2 AGV TR-2000

### 6.2.3. AGV TR-1000R

- Capacidad de carga: 1000 Kg
- Altura de Carga/Descarga: 645 mm
- Velocidad máxima: 1 m/s
- Precisión:  $\pm 15$  mm
- Sistema de navegación: Banda magnética



Fotografía 6.2.3 AGV TR-1000R

### 6.2.4. AGV DS-1000

- Capacidad de carga: 1000 Kg
- Altura de Carga/Descarga: 0 mm
- Velocidad máxima: 1,2 m/s
- Precisión:  $\pm 5$  mm
- Sistema de navegación: Puntos magnéticos



Fotografía 6.2.4 AGV DS-1000



### 6.2.5. AGV RX-07

- Capacidad de carga: 25000 Kg
- Altura de Carga/Descarga: 0 mm
- Velocidad máxima: 2 m/s
- Precisión: +-50 mm
- Sistema de navegación: GPS



Fotografía 6.2.5 AGV RX-07

### 6.2.6. AGV EGV-S20

- Capacidad de carga: 1800 Kg
- Altura de Carga/Descarga: 0 mm – 3200 mm
- Velocidad máxima: 1,6 m/s
- Precisión: +-10 mm
- Sistema de navegación: Guiado Laser



Fotografía 6.2.6 AGV EGV-S20

### 6.2.7. AGV EXD-SF

- Capacidad de carga: 1000 Kg
- Altura de Carga/Descarga: 0 mm – 2500 mm
- Velocidad máxima: 1,6 m/s
- Precisión: +-10 mm
- Sistema de navegación: Guiado Laser



Fotografía 6.2.7 AGV EXD-SF

### 6.2.8. AGV FMX

- Capacidad de carga: 1000 Kg
- Altura de Carga/Descarga: 0 mm – 7700 mm
- Velocidad máxima: 1,2 m/s
- Precisión: +-10 mm
- Sistema de navegación: Guiado Laser



*Fotografía 6.2.8 AGV FMX*

## 7. Selección del AGV, estudio de accesibilidad a las posiciones de *pick* y *drop*.

Para seleccionar el modelo de AGV para la instalación se deben considerar los siguientes aspectos:

- Tipo de carga.
- Masa de la carga.
- Geometría y emplazamiento de las posiciones de pick y drop.
- Sistema de navegación.

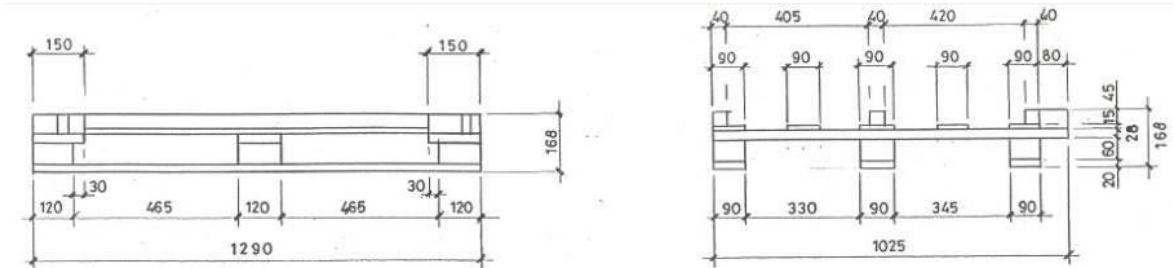
### 7.1. Tipo de carga.

El primer factor a tener en cuenta para la selección del tipo de AGV a instalar en la aplicación es el tipo carga que va a transportar y su geometría de contacto con el AGV. En este caso se trata de carga paletizada. Lo más usual en el caso de la carga paletizada es trabajar con europalets.

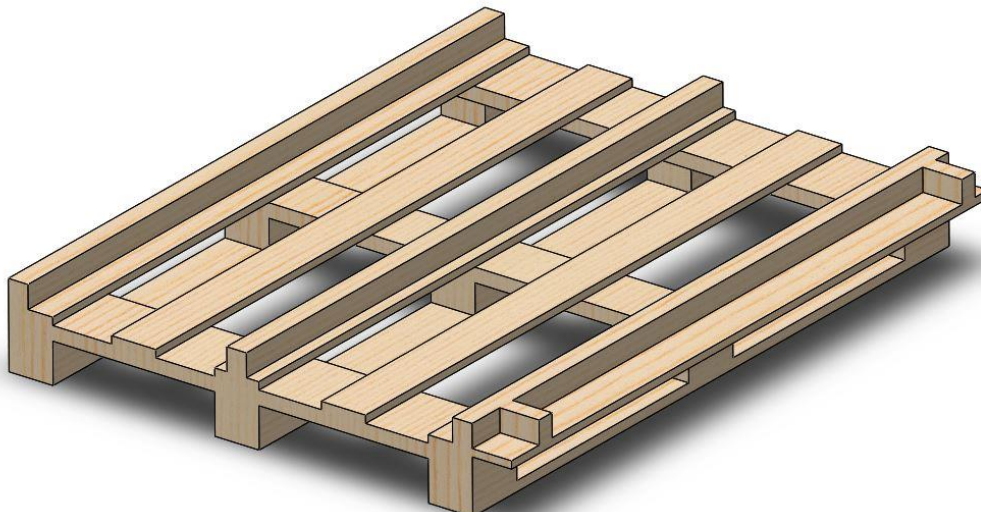


Fotografía 7.1.1 AGV apilador trabajando con una carga paletizada

Todos los AGVs con horquillas de la gama de Artisteril pueden transportar cargas paletizadas en europalets, pero en el caso de la aplicación del transporte de botellas el elemento de contacto entre el AGV y la carga tiene la siguiente geometría:



*Figura 7.1.2 Alzado y Perfil del Palet para el transporte de los Packs de botellas*



*Figura 7.1.3 Representación 3D del Palet para el transporte de los Packs de botellas*

Los AGVs que Artisteril dispone para este tipo de aplicaciones son los modelos tipo apilador siguientes:

- AGV EGV-S20
- AGV EXD-SF
- AGV FMX

Para más información sobre las características de los robots citados consúltase Ap. 6.2, Modelos de AGV Artisteril existentes en el mercado.

## 7.2. Masa de la carga

Para poder seleccionar el AGV es necesario a su vez tener en cuenta la masa máxima de la carga a transportar.

La carga que tiene mayor masa en la instalación es el pack de botellas estándar. Éste contiene 840 botellas con una masa total de 1380 kg, formado por las botellas, elementos de suportación de las botellas y el palet.

A partir de ésta característica se procede a seleccionar el AGV EGV-S20 cuya capacidad de carga máxima es de 2000 kg. No obstante para la completa comprobación de que dicho robot cumple con todas las especificaciones que la instalación requiere se debe proceder al estudio de accesibilidad a las posiciones de carga y descarga de la instalación, así como de la validación de que el sistema de navegación es el apropiado para la aplicación.

## 7.3. Estudio de accesibilidad a las posiciones de carga y descarga

Para garantizar la no obstaculización tanto en el avance del recorrido de la máquina como en las maniobras de carga y descarga, es necesario realizar un estudio geométrico del área de trabajo y de la accesibilidad de la máquina a las mesas de carga y a los carros de descarga.

Los puntos a analizar son:

- Radio de giro mínimo del AGV, estudio en planta.
- Altura de las mesas de carga y de los carros de descarga.
- Accesibilidad de los estabilizadores del AGV a las mesas de carga, estudio en alzado.
- Accesibilidad de los estabilizadores del AGV a los carros de descarga, estudio en alzado

### 7.3.1. Maniobrabilidad del AGV. Estudio en planta

Con el objetivo de que la trayectoria del AGV no sea obstaculizada por el perímetro del área de trabajo disponible para la instalación, es imprescindible definirla y analizarla con las posibilidades de trayectoria de la máquina.

La geometría en planta del AGV EGV-S20 es la siguiente:

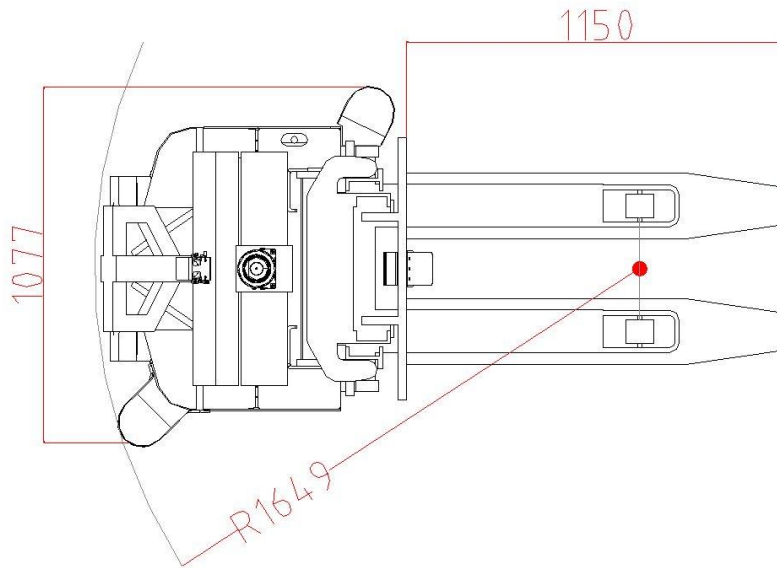


Figura 7.3.1.1 Vista en planta del AGV EGV-S20

En la figura anterior podemos observar las dimensiones en planta del AGV seleccionado. La cota más importante a considerar para el estudio en planta de la instalación es el radio de giro mínimo de la máquina. Su rueda motriz permite una rotación de  $180^\circ$ . Es por eso que el punto central de la circunferencia de radio de giro mínimo del AGV es su centro instantáneo de rotación, de color rojo en la figura anterior, situado en el punto central del eje de las ruedas fijas ubicadas en los estabilizadores. El radio de giro mínimo es la distancia entre el centro instantáneo de rotación y el punto del perímetro más desfavorable, en el caso del AGV EGV-S20, 1649 mm



En la vista en planta del layout podemos observar la disposición de las posiciones de carga y descarga de la instalación, con los espacios acotados entre los distintos obstáculos.

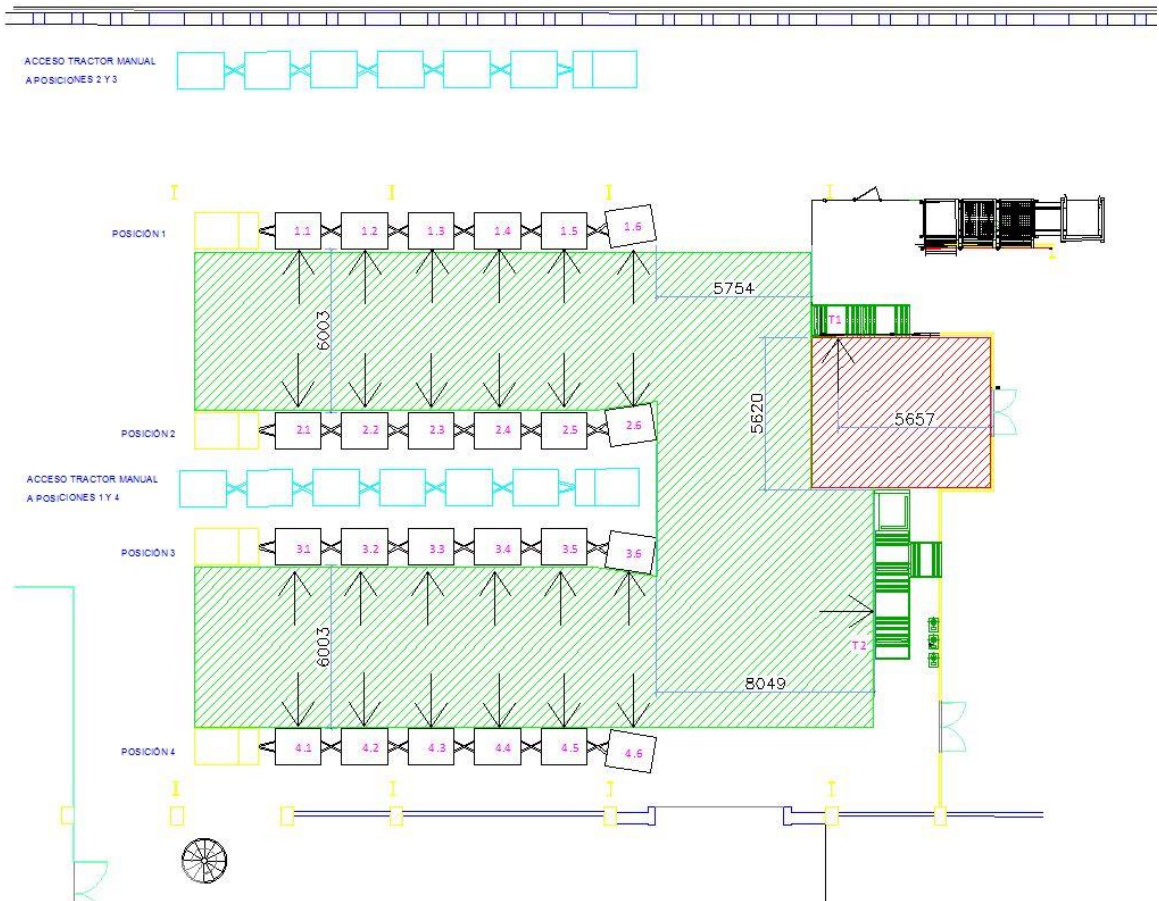


Figura 7.3.1.2 Área de trabajo de la instalación

Las flechas de color negro indican las posiciones de carga y descarga de la instalación con la dirección y el sentido de entrada a las mismas. El área sombreada es el área de trabajo del AGV y está definida por los cuatro trenes cuyos vagones son las posiciones de descarga, las mesas de carga y el perímetro que forma la pared de su alrededor. El área sombreada en rojo es el espacio de maniobra más restrictivo de la instalación. En ella está indicada la distancia mínima disponible del área de trabajo. Es por ello que la validación de la trayectoria del vehículo se realiza en consideración a esta distancia.

El ancho mínimo de pasillo es la distancia entre dos obstáculos continuos que garantiza la correcta ejecución de una maniobra de giro a 90°. Éste queda definido por la suma del radio de giro mínimo del vehículo, el largo de las horquillas y la longitud del área roja (parada) del escáner de seguridad delantero, que suele ser unos 500 mm. Además se multiplica el resultado por un coeficiente de seguridad de 1,2 en concepto al margen de corrección necesario del sistema de navegación que garantiza una correcta alineación del AGV con respecto a la posición de descarga:

$$Am = 1.2 * (R + Lh + Ls) = 1.2 * (1649 + 1150 + 500) = 3958.8mm$$

*Figura 7.3.1.3 Cálculo del ancho mínimo de pasillo*

El ancho mínimo de pasillo del AGV EGV-S20 no supera la distancia mínima disponible de la instalación, que son 5620 mm. Se valida el área disponible de la instalación para el robot seleccionado.

### **7.3.2. Altura de los puntos de pick y drop.**

La altura de las posiciones de carga de la instalación son las siguientes:

- L1: 320 mm
- L2: 495 mm

La altura de las posiciones de descarga de la instalación son las siguientes:

- Vagón estándar: 430 mm
- Vagón especial: 475 mm

En todos los casos la altura está comprendida entre los valores de altura alcanzables por la máquina. Véase apartado 6.2.6 AGV EGV-S20.



### 7.3.3. Accesibilidad de los estabilizadores a las mesas de carga y vagones de descarga, estudio en alzado.

La vista en alzado del AGV EGV-S20 es la siguiente:

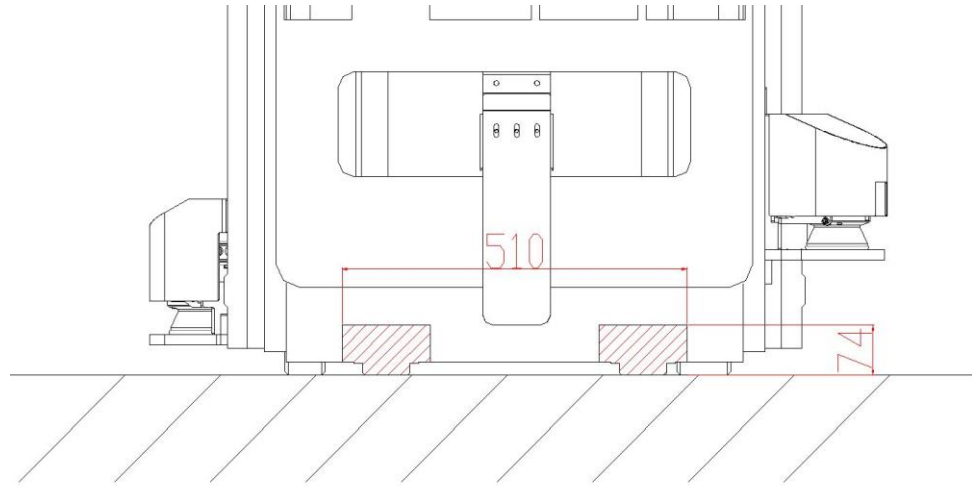


Figura 7.3.3.1 Detalle en alzado del AGV EGV-S20

El área sombreada corresponde a los estabilizadores. La distancia total entre ellos es de 510 mm y la altura total respecto del suelo es de 74 mm.

A continuación se muestra la geometría de las posiciones de carga:

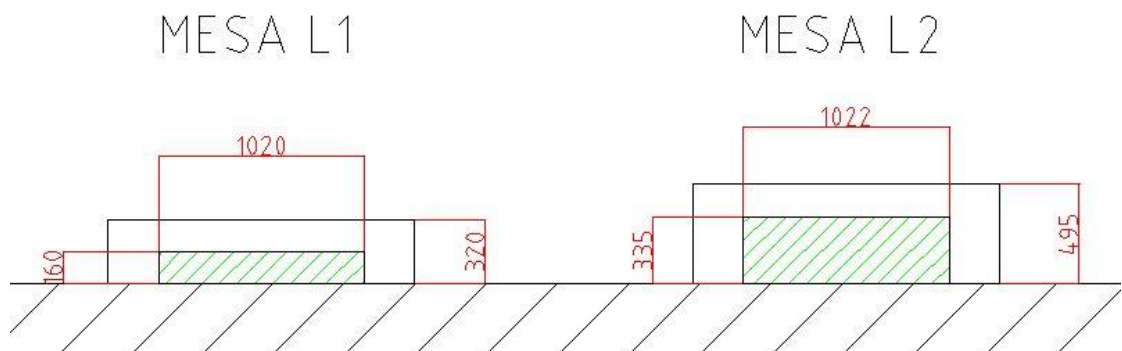
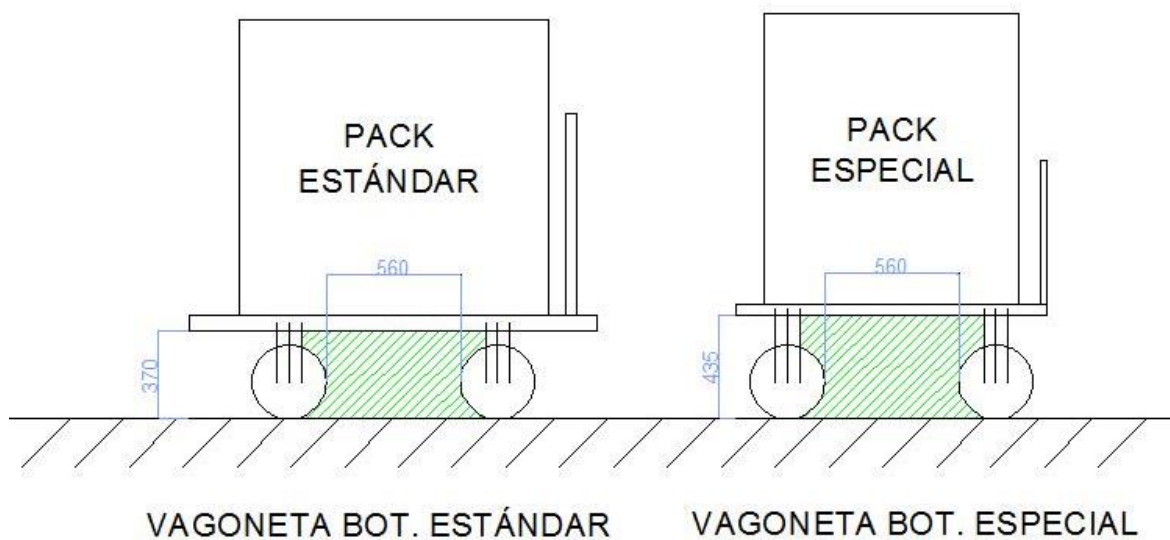


Figura 7.3.3.2 Vista en alzado de las mesas de carga de la instalación

La zona sombreada muestra el espacio disponible para la entrada de los estabilizadores. En ambos casos la geometría entre las patas de apoyo de las mesas permite albergar los estabilizadores del AGV EGV-S20.

A continuación se muestra la geometría de las posiciones de descarga:



*Figura 7.3.3.3 Vista en alzado de los vagones de descarga de la instalación*

La zona sombreada muestra el espacio disponible para la entrada de los estabilizadores. En ambos casos la geometría entre las ruedas de los vagones permite albergar los estabilizadores del AGV EGV-S20, considerando una precisión en la navegación de  $\pm 10$  mm.

## 7.4. Sistema de navegación

El sistema de navegación del AGV seleccionado es el de posicionamiento láser por reflectores. Como veremos más adelante con más detalle, el AGV necesita disponer de unos reflectores ubicados en las paredes de la instalación para poder navegar. Se trata de una solución muy limpia ya que es el sistema que preserva en mayor medida la diafanidad del espacio de trabajo, sin necesidad de colocar objetos a lo largo del recorrido de transporte. Es por ello que cumple la premisa inicial de respetar al máximo el entorno y los elementos originales de la instalación.

## 8. AGV Artisteril seleccionado

El robot Artisteril seleccionado para la instalación es el modelo AGV EGV-S20. El AGV es una carretilla elevadora STILL EGV-S20 modificada con un kit de automatización AGV Electronics. Todos los elementos del kit de automatización junto con los módulos de seguridad y comunicaciones están ubicados en un armario de control situado en la parte superior del mástil del vehículo. Las solicitudes técnicas de la máquina se obtienen del catálogo de STILL [1]. La información necesaria para la correcta manipulación mecánica para la automatización de la máquina de STILL se consulta en el manual de la EGV-S20 [2]. La información necesaria para la correcta manipulación eléctrica para la automatización de la máquina de STILL se consulta en los esquemas eléctricos de la máquina [3].



Fotografía 8.1 AGV EGV-S20: STILL EGV-S20 con kit AGVE

## 8.1. Características más relevantes del AGV

- Capacidad de carga: 1800 Kg.
- Altura de Carga/Descarga: 0 mm – 3200 mm.
- Velocidad nominal: 1 m/s
- Velocidad máxima: 1,6 m/s.
- Precisión navegación:  $\pm 10$  mm.
- Precisión elevación horquillas:  $\pm 10$  mm.
- Alimentación: Baterías de 24V 240Ah Plomo-ácido.
- Sistema de navegación: Guiado Láser mediante escáner láser de posicionamiento SICK NAV-350.

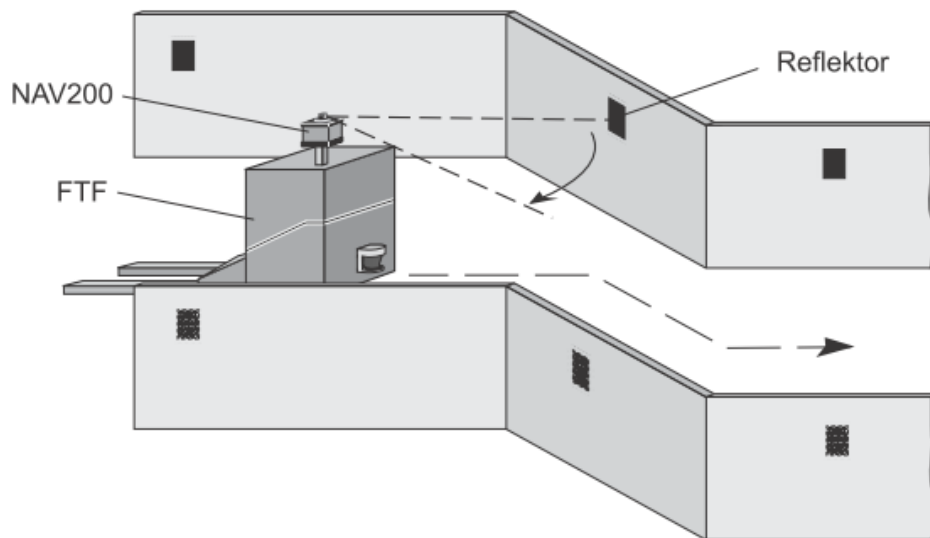


Figura 8.1.1 Esquema ejemplo navegación láser con reflectores

- Sistema de control: Kit de automatización AGV Artisteril CB80.
- Sistema de comunicación: WiFi con protocolo TCP/IP.
- Motor de tracción CC de excitación independiente con sistema de posicionamiento relativo redundante mediante dos encoders integrados.

- Motor de dirección CC de imanes permanentes con sistema de posicionamiento absoluto mediante encoder integrado.
- Circuito de hidráulico de elevación con bomba centrífuga con sistema de posicionamiento mediante encoder absoluto.
- Sistema de detección de carga mediante final de carrera tipo “flap”.
- Dos escáneres láser de seguridad SICK S-300 con PLC de control de seguridad independiente SICK FlexiSoft y cuatro pulsadores de emergencia.
- Escáner láser de protección frontal a altura SICK.
- Fococélulas de protección en las puntas de las horquillas SICK.

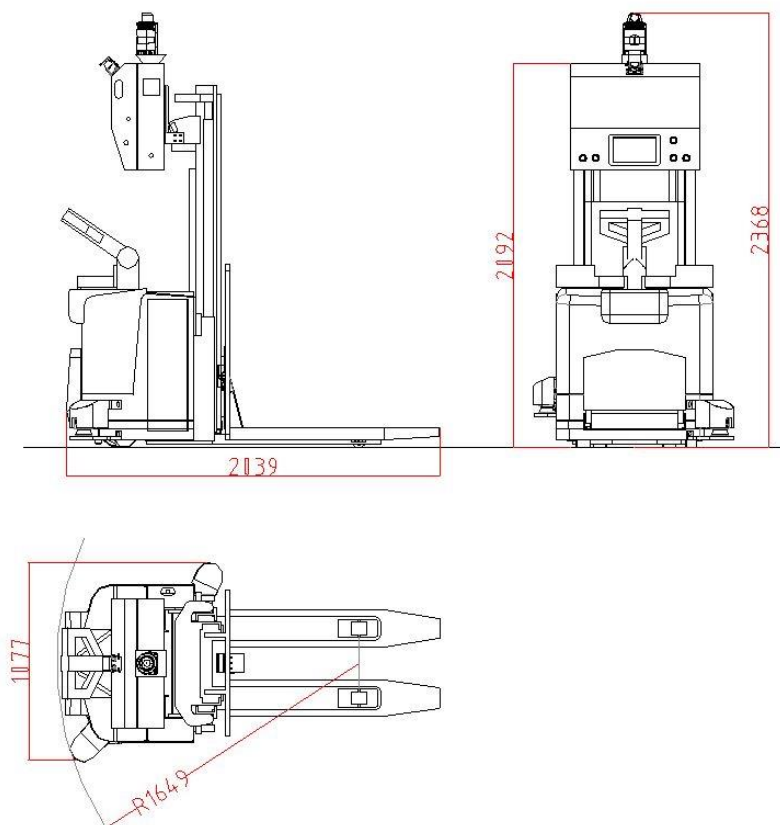
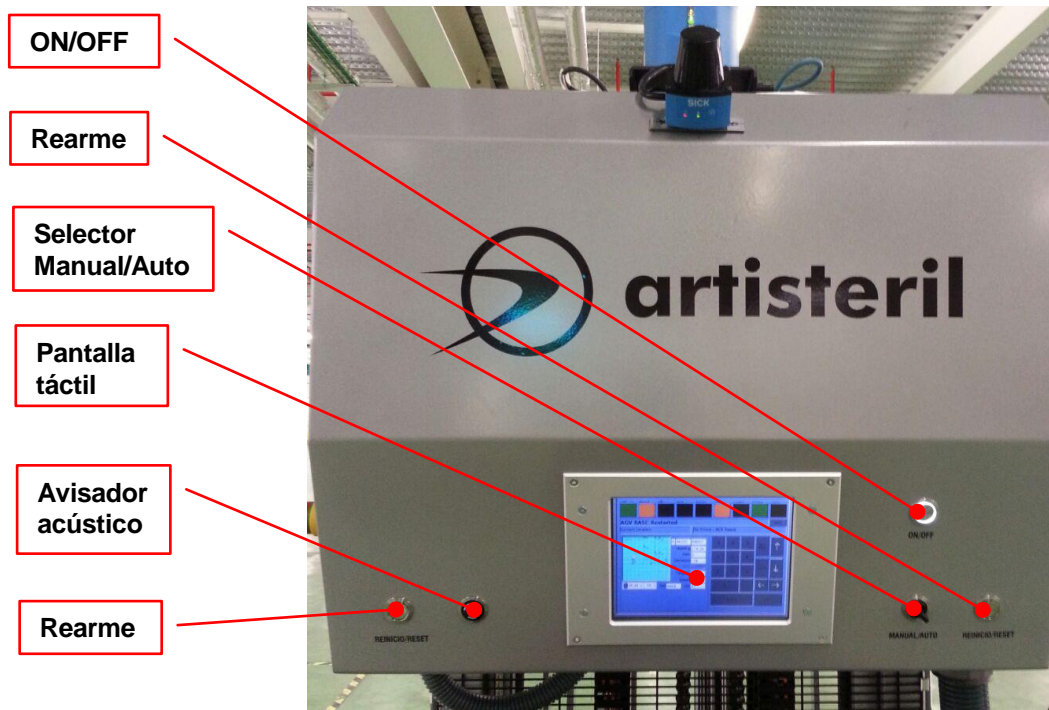


Figura 8.1.2 Esquema AGV EGV-S20

## 8.2. Características más relevantes del armario de control

En el armario de control se encuentra ubicada la mayor parte del hardware y software necesario para el control del AGV.



Fotografía 8.2.1 Vista exterior Armario eléctrico AGV EGV-S20

La CPU de control se denomina *AGV Artisteril CB80*. Ésta permite, entre múltiples funciones, con el layout previamente configurado, posicionar el AGV en el espacio de trabajo mediante la lectura del escáner láser NAV-350, establecer el camino más corto entre dos puntos de la instalación, secuenciar acciones físicas para definir maniobras de carga y descarga y ejecutar órdenes de gestión de tráfico recibidas por comunicación wireless tales como paradas o órdenes de trabajo.

En el interior del armario de control encontramos:

- CPU.
- Módulos de entradas y salidas digitales.
- Módulos de salidas analógicas.
- Módulo de comunicación WiFi.



- Módulos de seguridad.
- Fuente de alimentación con filtro estabilizador de tensión.

### 8.3. Sistema de navegación

El sistema de navegación del AGV EGV-S20 está basado en el escáner láser NAV350 de SICK. El escáner está dotado de una lente rotatoria emisora y receptora de ondas láser de clase 1 capaz de crear un plano de detección de hasta 70 metros de radio.



Fotografía 8.3.1 SICK NAV350

Los elementos que el escáner percibe en el plano de detección son los denominados reflectores. Se trata de unos cilindros de diámetro 110mm y 500mm de largo ubicados en las paredes de la instalación capaces de reflejar la longitud de onda de luz láser que viene del escáner y que vuelve a ser captada por el mismo. La luz láser que utiliza el NAV350 es de clase 1, por lo cual no presenta ningún tipo de peligro para la vista humana. Con el tiempo entre la emisión y la recepción de la luz y la velocidad lineal de las ondas emitidas, el escáner es capaz de conocer la distancia a la que se encuentra del reflector. Con la lectura de la distancia de al menos tres reflectores, y la definición de la posición de los reflectores en el layout, el sistema de navegación es capaz de ubicarse en cualquier punto de la instalación y navegar entre puntos aplicando la corrección de la dirección necesaria.





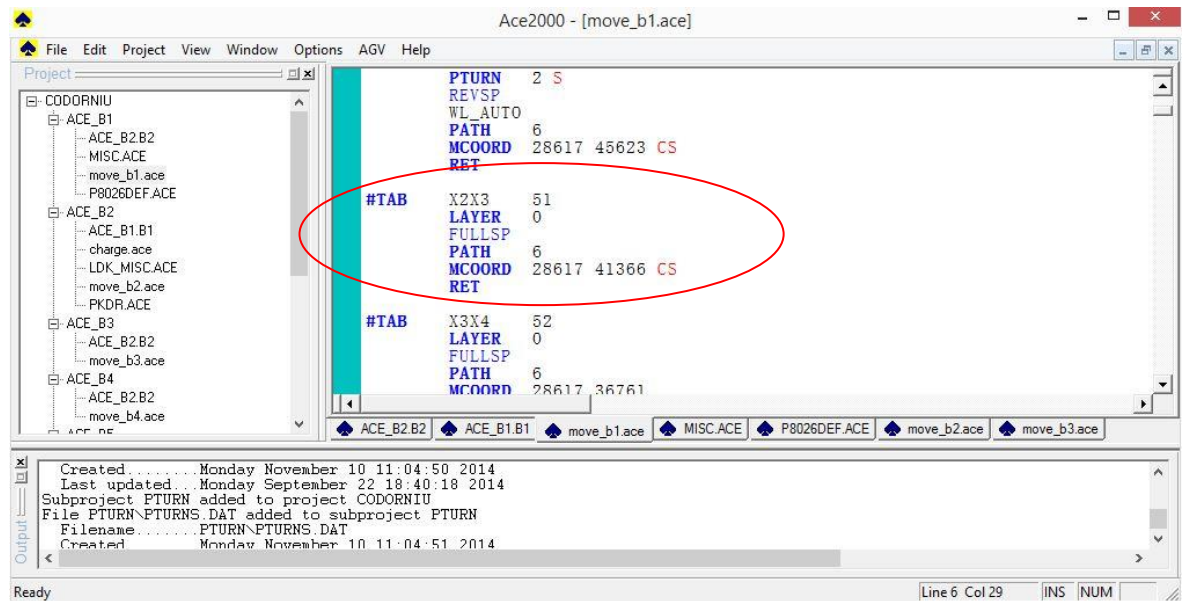


Figura 8.4.2 Ejemplo tabla segmento X2-X3 ACE

A demás de la codificación de los segmentos, también es posible programar las maniobras de carga y descarga. Éstas se programan en lenguaje de instrucciones. Las instrucciones programables de una maniobra de carga en altura son, por ejemplo, posicionar horquillas a altura de carga, distancia de avance marcha atrás hasta encontrar la carga, subir las horquillas hasta altura de descarga, distancia de avance marcha adelante, bajar horquillas hasta altura de transporte.

```

-----
PICKING LOAD ON CONVEYOR
-----
#TAB PICKC 22

TAB B1 RSCANNER_OF ; Escáner trasero mínimo
;SPEED 75 LIFT ; Adjust LIFT speed
GOTO PEMU IF AGVESIM ; Different routine if runned in simulator

FTIP_PH_EN
SPEED 100 LIFT ; Adjust LIFT speed
AABS LIFT 1265 ; Set lift for conveyour, ADJUST !!!
MAX PERR2 DRV 165 ; Must find load within 140 cm, ADJUST !!!
SPEED -20
DIST 75 F ; Always go this distance
FTIP_PH_DI
LW_DI ; Always go this distance
DIST 76 F S ; Disable load watch
SPEED -5 ; Slow down before we detect load
SENS LOAD_FLAP ; Travel until the load sensor detects pallet
DIST 3 F S ; Brake and stop
MAX RES ; Reset the MAX command
SPEED 50 LIFT ; Adjust LIFT speed
ADIST LIFT UP 150 ; Raise lift to clear station, ADJUST?
;ASENS LIFT UP 15 ; Raise lift to clear station, ADJUST?
GOTO PFEND2 IFNOT LOAD_FLAP
LOADED ; Tell TRAM that AGV is loaded
LW_EN ; Enable load watch
SPEED 30
DIST 170 F S ; Avance en cm
FTIP_PH_EN
SPEED 100 LIFT ; Adjust LIFT speed
AABS LIFT 1000 ; Set lift
AABS LIFT TRPOS C ; Set lift to transport position
TAB B1 RSCANNER_ST ; Escáner trasero standard
RET

```

Figura 8.4.3 Ejemplo de programación ACE2000 maniobra de carga en altura

## 9. Dimensionamiento de la instalación

En una instalación de transporte robotizado tipo AGV se entiende por dimensionamiento el cálculo del número de vehículos AGV necesarios para llevar a cabo todos los transportes según la productividad de la instalación. En este caso, dado que hay una única salida de packs por cada línea y no hay ningún buffer, la producción requiere un sistema FIFO para los transportes.

El dimensionamiento se calcula teniendo en cuenta varios parámetros. A partir de la distancia media entre el punto de carga hasta los puntos de descarga, la velocidad media del AGV y los tiempos de carga y descarga en las estaciones se obtiene la productividad del AGV en dicha instalación.

El resultado de los AGVs necesarios para llevar a cabo los transportes se obtiene de la división de la productividad de la instalación y la productividad de un solo AGV.

Para esta instalación partiremos el dimensionamiento en dos dimensionamientos distintos uno para cada línea de producción. Se puede hacer de este modo ya que ambas líneas no compartirían ni puntos de carga, ni de descarga, ni trayectorias de recorrido. En el caso de que el resultado de ambos cálculos fuera inferior a 0,5 AGVs necesarios, se estudiaría el transporte combinado, aumentando la distancia media de transporte.

### 9.1. Dimensionamiento L1

Se determina la distancia media de transporte para L1 desde la posición de carga hasta el tercer vagón del tren superior:

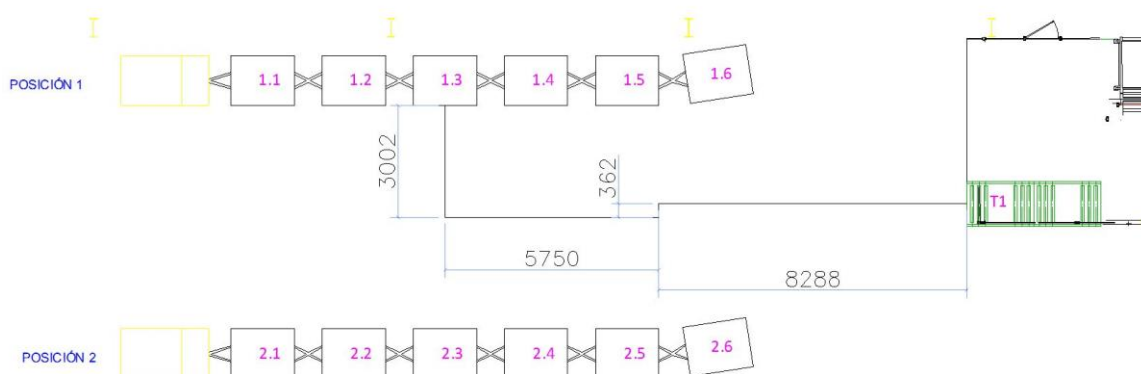


Figura 9.1.1 Distancia media de transporte para L1

La distancia media de transporte para L1 es de 17,4 m.

La velocidad media del AGV EGV-S20 en instalaciones con trayectorias rectas cortas (<50m) es de la mitad de su velocidad nominal, es decir, 0,5 m/s.

El tiempo de carga en una estación tipo mesa de transferencia a una altura de 500 mm del suelo se considera de 30 segundos. En cambio, una maniobra de descarga en una posición de geometría más restrictiva, como en el caso de la descarga en el vagón, se considera de 40 segundos, ya que la entrada a la posición se realiza con una velocidad menor.

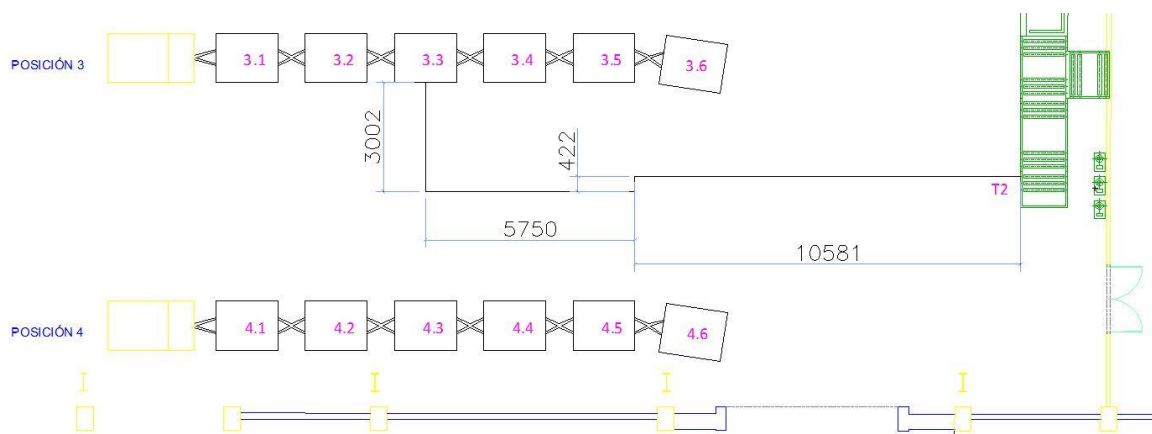
Por último, se tiene en cuenta un porcentaje de tiempo de bloqueo del 5%. Se considera un tiempo de bloqueo relativamente bajo ya que la convivencia con otros vehículos y con personas es prácticamente nula en el área de trabajo de la instalación. Para preservar la baja interferencia en el tráfico del AGV se posicionarán semáforos en las zonas de cruce con otros vehículos para dar preferencia al AGV.

<b>TRANSPORTES LINEA 1</b>		
<b>De Estación T1 a Carros</b>		
Distancia	m	17,4
Velocidad Media	m/s	0,5
Tiempo recorrido pasillo	s	35
Tiempo Carga en Estación T1	s	30
<b>TOTAL</b>	<b>s</b>	<b>65</b>
<b>De Carros a Estación T1</b>		
Distancia	m	17,4
Velocidad Media	m/s	0,5
Tiempo recorrido pasillo	s	35
Tiempo Descarga en Carros	s	40
<b>TOTAL</b>	<b>s</b>	<b>75</b>
<b>Dimensionamiento</b>		
(Tiempo en segundos)	s	
De Estación T1 a Carros	65	
De Carros a Estación T1	75	
<b>Tiempo de transporte AGV</b>	<b>140</b>	
% Tiempo de Espera	5%	
Tiempo total de transporte AGV	147	
Productividad AGV (Transportes/hora)	24,56	
Productividad Línea 1 (Packs/hora)	23,81	
AGV's necesarios	0,97	
<b>AGV's necesarios Línea 1</b>	<b>1,0</b>	

Tabla 9.1.2 Cálculo del dimensionamiento para L1.

## 9.2. Dimensionamiento L2

Se determina la distancia media de transporte para L2 desde la posición de carga hasta el tercer vagón del tren superior:



*Figura 9.2.1 Distancia media de transporte para L2*

La distancia media de transporte para L2 es de 19,8m

Se calcula del mismo modo que en el apartado anterior el número de AGVs necesarios para abastecer la línea.

<b>TRANSPORTES LINEA 2</b>		
<b>De Estación T2 a Carros</b>		
Distancia	m	19,8
Velocidad Media	m/s	0,5
Tiempo recorrido pasillo	s	40
Tiempo Carga en Estación T2	s	30
TOTAL	s	<b>70</b>
<b>De Carros a Estación T2</b>		
Distancia	m	16
Velocidad Media	m/s	0,5
Tiempo recorrido pasillo	s	32
Tiempo Descarga en Carros	s	40
TOTAL	s	<b>72</b>
<b>Dimensionamiento</b>		
(Tiempo en segundos)	s	
De Estación T2 a Carros	70	
De Carros a Estación T2	72	
<b>Tiempo total</b>	<b>142</b>	
% Tiempo de Espera	5%	
Tiempo total de transporte AGV	149	
Productividad/hora AGV	24,21	
Productividad/hora Línea 2	19,00	
AGV's necesarios	0,78	
<b>AGV's necesarios Línea 2</b>	<b>1,0</b>	

Tabla 9.2.2 Cálculo del dimensionamiento para L2.

### 9.3. Resultado del dimensionamiento

Para garantizar la cadencia de transporte en la instalación con las dos líneas trabajando simultáneamente a máxima capacidad, son necesarios 2 AGVs, uno para cada línea.

En el caso de la línea 2, notar que el AGV tiene un 78% de carga de trabajo y es capaz de absorber más tiempo de espera del previsto, mientras que en el caso de la línea 1, el AGV tiene una carga del 98%. Es por esto que en la línea 1 se debe garantizar en la mayor medida posible la no obstaculización de las zonas de cruce y mayor convivencia, aunque las interferencias sean bajas.

Hay que tener en cuenta que en el dimensionamiento no se ha tenido en cuenta un tiempo de carga automática de baterías. Por este motivo será necesaria la opción de cambio rápido de baterías.

## 10. Modificaciones mecánicas del AGV y diseño de los elementos mecánicos de la instalación

En el estudio del proyecto se ha escogido el AGV-EGV-S20. Por motivos geométricos de las posiciones de carga y descarga y de la misma carga, será necesario llevar a cabo ciertas modificaciones mecánicas en el AGV.

### 10.1. Orientación de los packs de botellas en las posiciones de carga

La geometría en detalle de los packs, tanto del estándar como del especial es la siguiente:

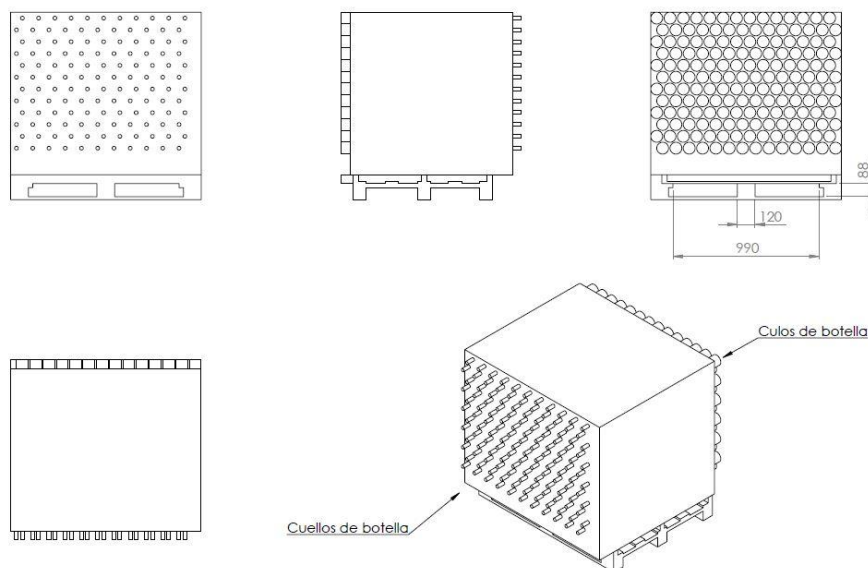


Figura 10.1.1 Geometría de las unidades de carga

Es importante tener en cuenta los posibles riesgos que conlleva el hecho de que los cuellos de las botellas de las últimas columnas del pack queden expuestos en el perímetro del mismo. Como se ha comentado anteriormente, la posición de descarga de la instalación son los vagones de los trenes que bajan a las cavas. Para asegurar la estabilidad de la carga en el transporte, los vagones incorporan una pared de apoyo vertical. El pack debe quedar posicionado en el vagón de forma cruzada, de modo que los cuellos y los culos de las botellas en el perímetro del pack queden dispuestos en los laterales del vagón y así nunca tener contacto con la pared vertical de apoyo.

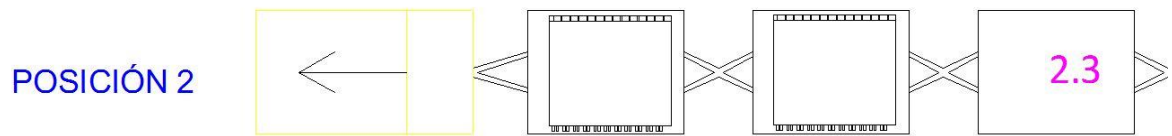


Figura 10.1.2 Vista en planta de la posición de los packs en los vagones.

Se define la posición de entrega del pack en las mesas de L1 y L2 y el plano de ataque. La carga se realiza por la cara en la que se encuentran los culos de las botellas.

También queda definida por la geometría de la entrega en las mesas la distancia de transporte entre la carga y el mástil del AGV.

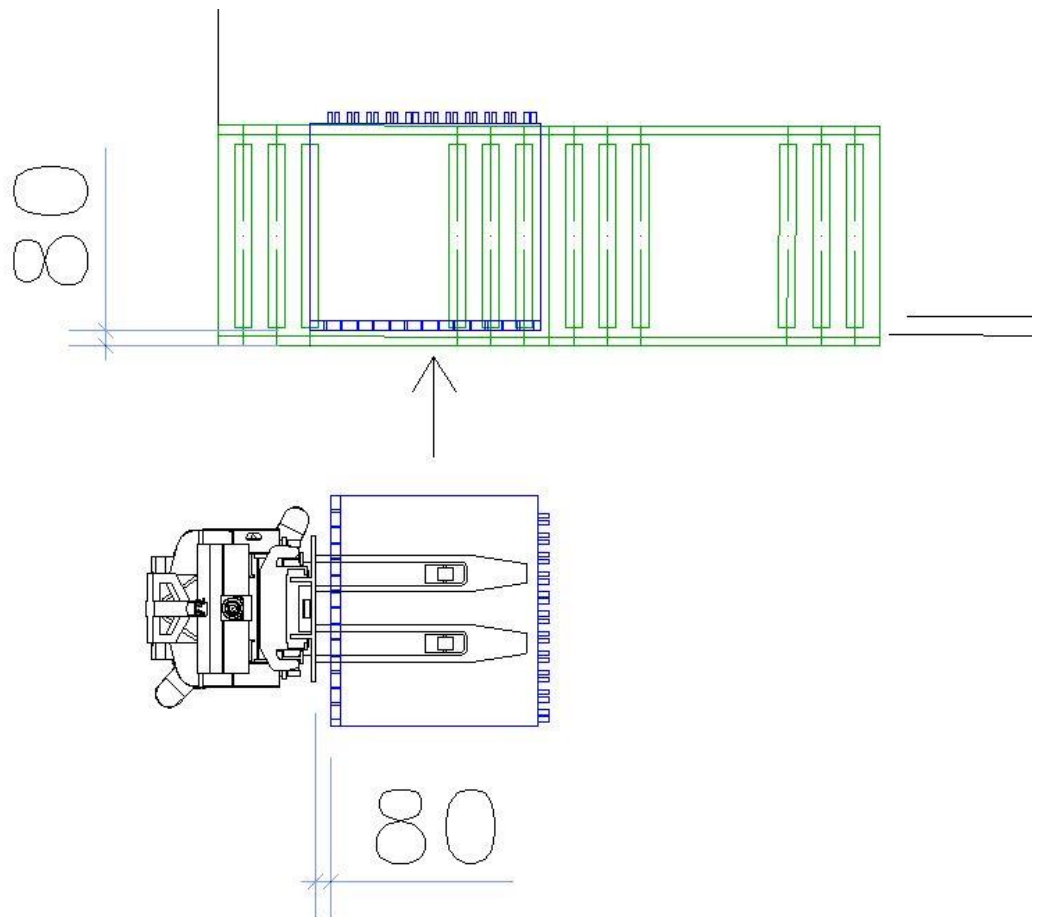


Figura 10.1.3 Vista en planta de la posición relativa entre carga y AGV

## 10.2. Modificación de las horquillas del AGV EGV-S20

Para validar la posición del pack cuando es estregado en la mesa de rodillos de ambas líneas y la de descarga en los vagones, es muy importante validar el espacio disponible para las horquillas en el palet. La altura de las horquillas del AGV EGV-S es de 61 mm. Como se puede apreciar en la Figura 10.1.1 el espacio disponible en el hueco del palet para la carga es de 88 mm. La distancia de margen es pues de 27 mm. Si tenemos en cuenta que el sistema de elevación tiene una tolerancia de 30 mm en total, no se puede garantizar que la altura de carga quede en una posición admisible siempre. Es por ello que se decide reducir la altura de las horquillas en 20 mm para disponer de una distancia de margen de 47 mm. Esta distancia garantiza el posicionamiento de las horquillas en altura de carga y descarga ya que absorbe la tolerancia del posicionamiento del sistema de elevación.

Se realiza un estudio de estático de tensiones y deformaciones con la herramienta ANSYS para determinar donde añadir material a las horquillas con tal de obtener resultados similares a los de las horquillas originales. Se realiza con el apoyo de un manual para dicho programa [4].

### 10.2.1. Análisis de la modificación de las horquillas mediante el método de los elementos finitos

Se realiza un modelo en tres dimensiones de una horquilla original del AGV EGV-S20.

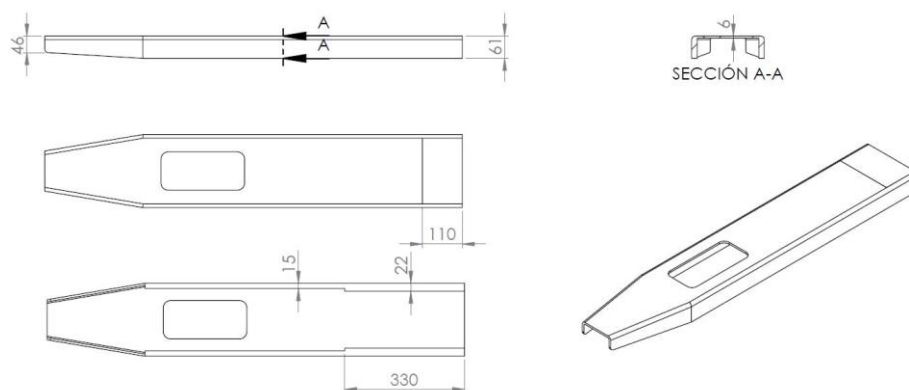


Figura 10.2.1.1 Representación horquilla original AGV EGV-S20

El material del que están compuestas las horquillas es acero estructural S-235.

Se realiza un estudio estático de tensiones internas y deformaciones con la herramienta ANSYS en una horquilla causadas por la mitad del peso de un pack estándar aplicado en la



superficie de contacto con el palet. La cara soldada de la horquilla se considera fija. Se realiza también un estudio de sensibilidad del mallado para determinar el tamaño de elemento óptimo en cuanto a tiempo de cálculo y precisión del resultado obtenido. Se obtiene la siguiente gráfica:

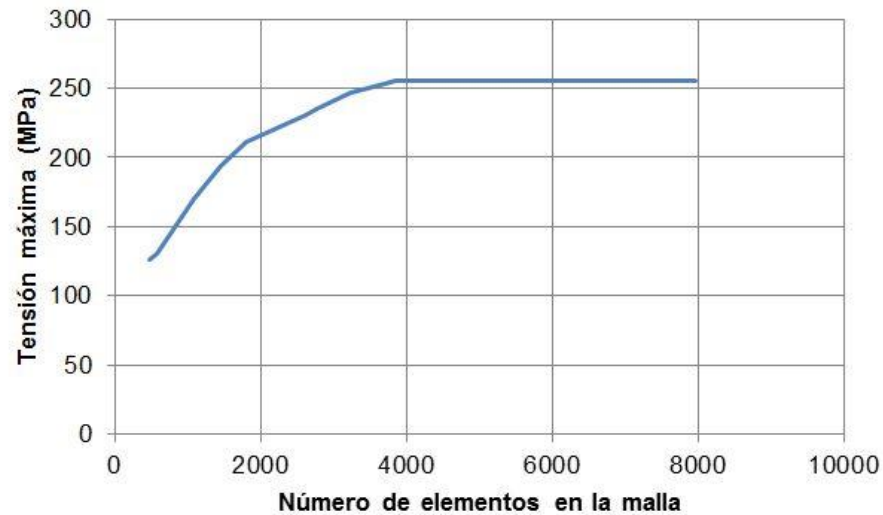


Figura 10.2.1.2. Estudio de sensibilidad del mallado del modelo.

Se escoge un tamaño de elemento de 0,02 m para todos los modelos, con el que se obtienen unos 4000 elementos.

Se obtiene una tensión equivalente máxima a compresión de 116,17 MPa cerca de la zona fija, muy por debajo de límite elástico del material, que es 235 MPa. Se obtiene una deformación en la punta de la horquilla de 5,29 mm.

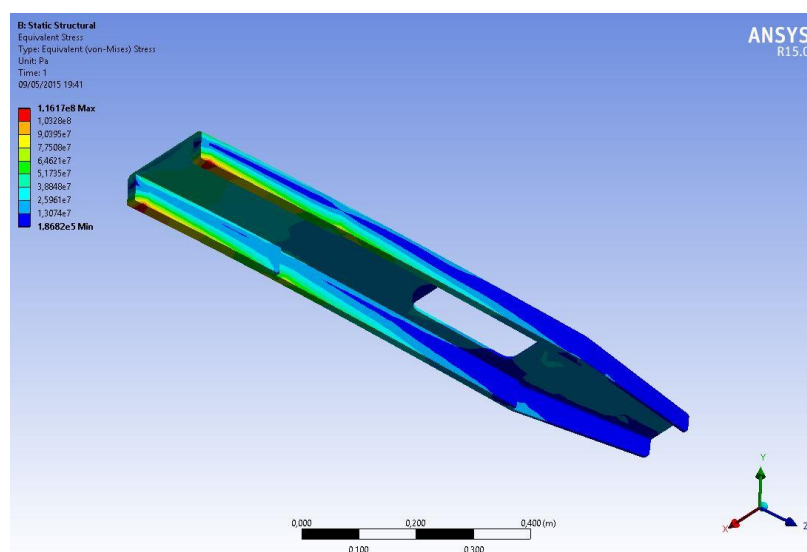


Figura 10.2.1.3 Distribución de tensiones en el modelo de la horquilla original

A continuación se realiza un modelo tridimensional de la horquilla con la altura modificada a 40 mm

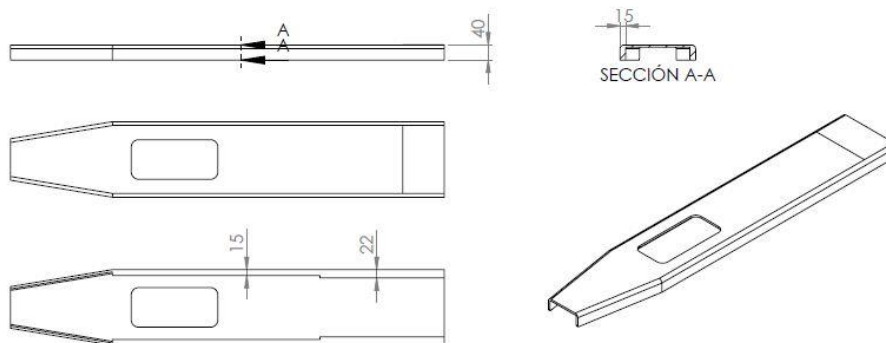


Figura 10.2.1.4 Representación horquilla de altura modificada AGV EGV-S20

Se realiza un estudio de tensiones y deformaciones con las mismas condiciones de contorno que el anterior.

Se obtiene una tensión equivalente máxima a compresión de 252,73 MPa cerca de la zona fija, valor por encima de límite elástico del material, que es 235 MPa. Se obtiene una deformación en la punta de la horquilla de 17,07 mm. Los valores obtenidos en el análisis son inadmisibles, puesto que las horquillas estarían expuestas a esfuerzos por encima de lo que su rigidez permite y en las zonas cercanas al mástil experimentarían deformaciones plásticas.

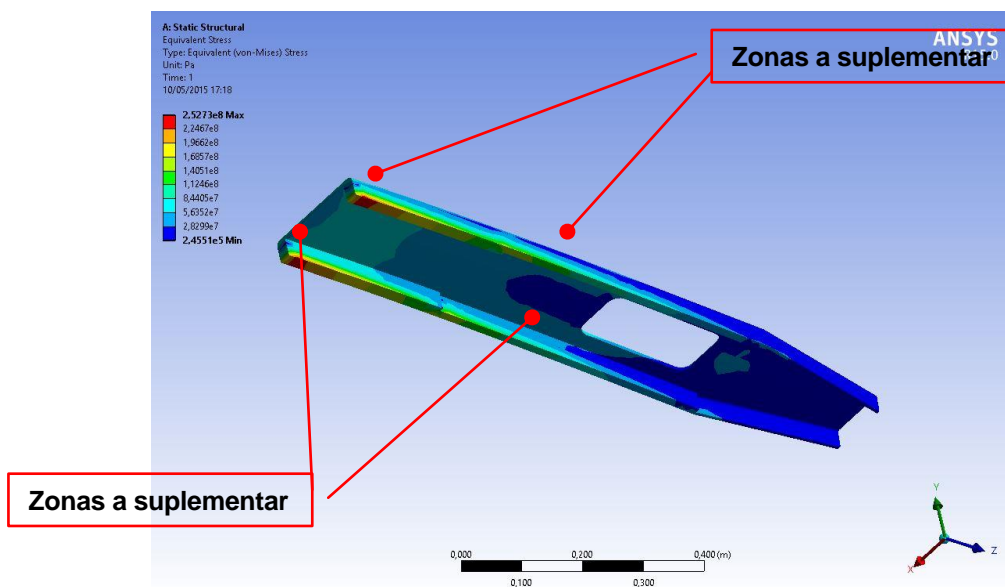


Figura 10.2.1.5 Distribución de tensiones en el modelo de la horquilla con altura 40mm

Es por ello que se decide suplementar la horquilla por su interior respetando la altura de 40mm.

Se refuerzan las zonas cercanas donde se encuentra una mayor concentración de tensiones mediante la soldadura de unos suplementos del mismo acero estructural que la horquilla. Se utiliza para cada ala de la horquilla un perfil de 20x34x550 y otro de 30x34x550mm, ambos en S235.

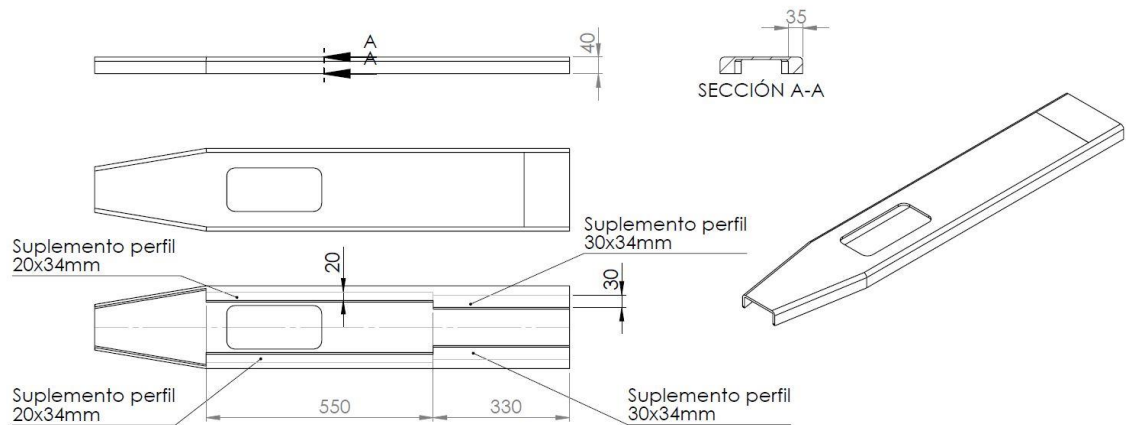


Figura 10.2.1.6 Representación horquilla con suplementos AGV EGV-S20

Se valida la geometría resultante con el análisis de tensiones y deformaciones con las mismas condiciones de contorno que los anteriores.

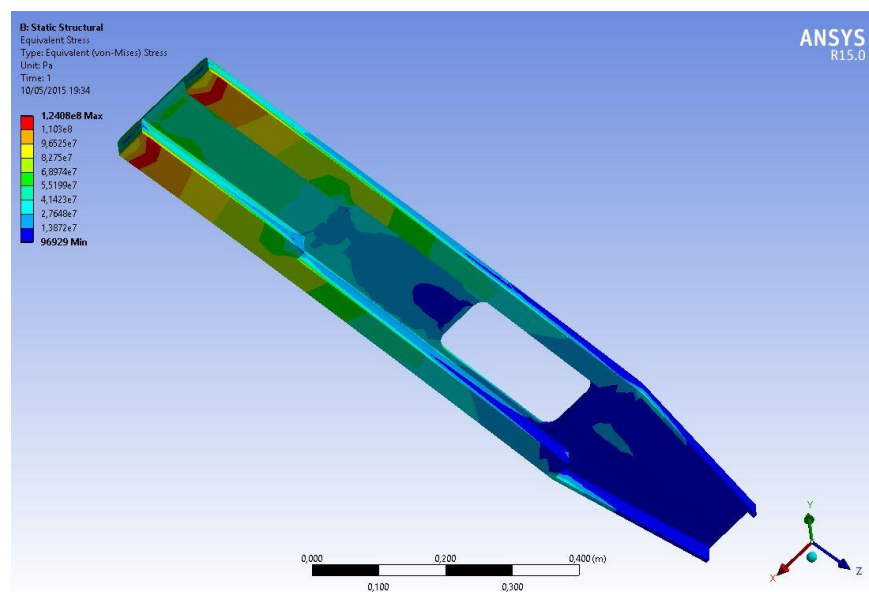


Figura 10.2.1.7 Distribución de tensiones en el modelo de la horquilla con suplementos

Se obtiene una tensión equivalente máxima a compresión de 124,08 MPa cerca de la zona fija, valor considerablemente por debajo del límite elástico del material. Se obtiene una deformación en la punta de la horquilla de 9,89 mm, valor por encima de la deformación máxima obtenida con las horquillas originales, pero admisible para la aplicación. Los valores obtenidos en el análisis son admisibles, puesto que las horquillas estarían expuestas a esfuerzos considerablemente por debajo de lo que su rigidez permite con deformaciones dentro del régimen elástico en toda la geometría.

### 10.2.2. Análisis de las soldaduras.

Se deben realizar las uniones por soldadura entre los suplementos y la horquilla original.

Es necesario retirar la pintura en las zonas de las horquillas donde está ubicado el suplemento.

El cordón de soldadura se aplica a lo largo del suplemento y ha de tener un espesor mínimo de la mitad del grosor del suplemento para garantizar que los mismos queden solidarios a las horquillas.

## 10.3. Diseño alternativo del conjunto de detección de carga

El AGV EGV-S20 dispone de un detector de carga situado en el mástil entre sus dos horquillas. El mecanismo de tipo “flap” consiste en una pala que bascula con unas bisagras y recibe una fuerza de unos resortes, que lo mantienen en una posición de descanso. La pala, que tiene una carrera de aproximadamente 50mm, es accionada por el palet en la maniobra de carga. Una pestaña solidaria a la pala es detectada por un sensor inductivo cuando la pala llega al final de su carrera. La señal del sensor inductivo indica al sistema de control del AGV que tiene una carga en las horquillas.

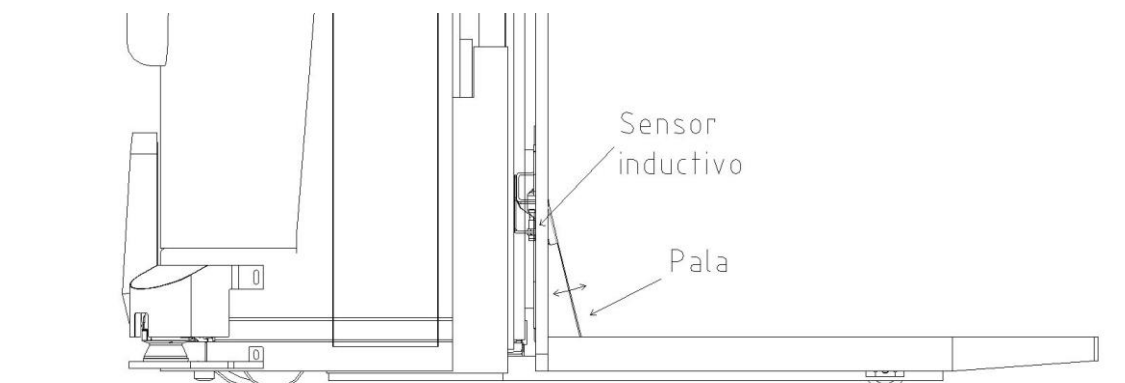


Figura 10.3.1 Detalle del sensor de carga original AGV EGV-S20

Debido a la geometría de las mesas de carga, el palet nunca puede llegar a accionar dicha pala, pues entre el mástil del AGV y el perímetro del palet hay una distancia de 80 mm (véase Figura 10.1.3). Es por ello que el sensor de carga ha de ser rediseñado de forma que se pueda adelantar.

Se realiza un diseño de un nuevo mecanismo de detección de carga utilizando un microrruptor con cabezal de rueda y resorte. El nuevo diseño queda ubicado entre las horquillas del AGV a una distancia de detección de 90 mm respecto del mástil y se monta mediante dos tornillos M10. Las horquillas han de ser mecanizadas acorde con los taladros de fijación del sistema a M10 para poder fijar los dos tornillos.

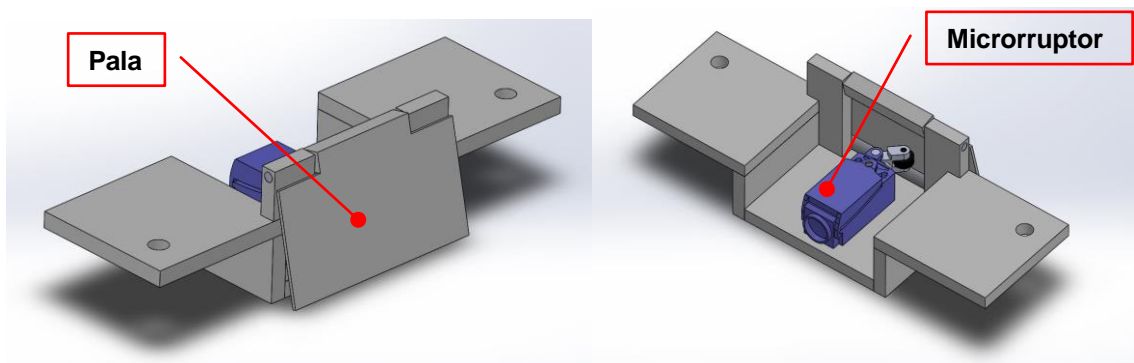
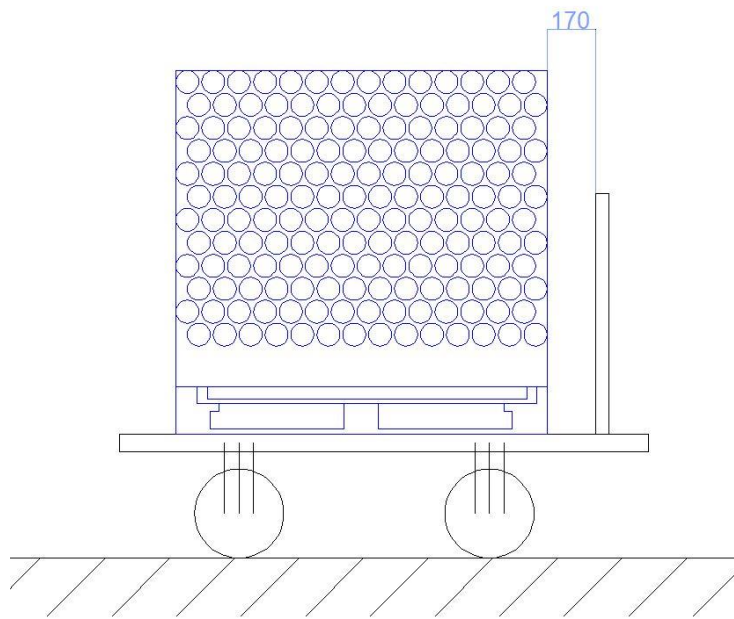


Figura 10.3.2 Representación 3D del nuevo detector de carga

## 10.4. Suplementos verticales para los vagones

La vista en alzado del pack una vez descargado encima del vagón es la siguiente.



*Figura 10.4.1 Vista en alzado del pack descargado en vagón*

El pack es descargado con su centro en el punto medio de la distancia entre los ejes de sus ruedas para que los estabilizadores puedan entrar con la misma holgura por los dos lados. Como veremos más adelante, las trayectorias de descarga están definidas sobre ese punto para cada vagón. El espacio existente entre la pared vertical del vagón y el pack no es admisible, ya que el sistema pack-vagón no puede tener movimiento relativo en su transporte, cuyo recorrido pasa por zonas en las que la pendiente en bajada es acusada.

Se realiza el diseño de unos suplementos verticales en aglomerado de madera hidrófugo, ya que al bajar a las cavas estarán sometidos a humedades relativas altas. El grosor total es 150 mm para minimizar el espacio existente dejando una tolerancia que corresponde a dos veces el margen de error del sistema de navegación (20 mm).

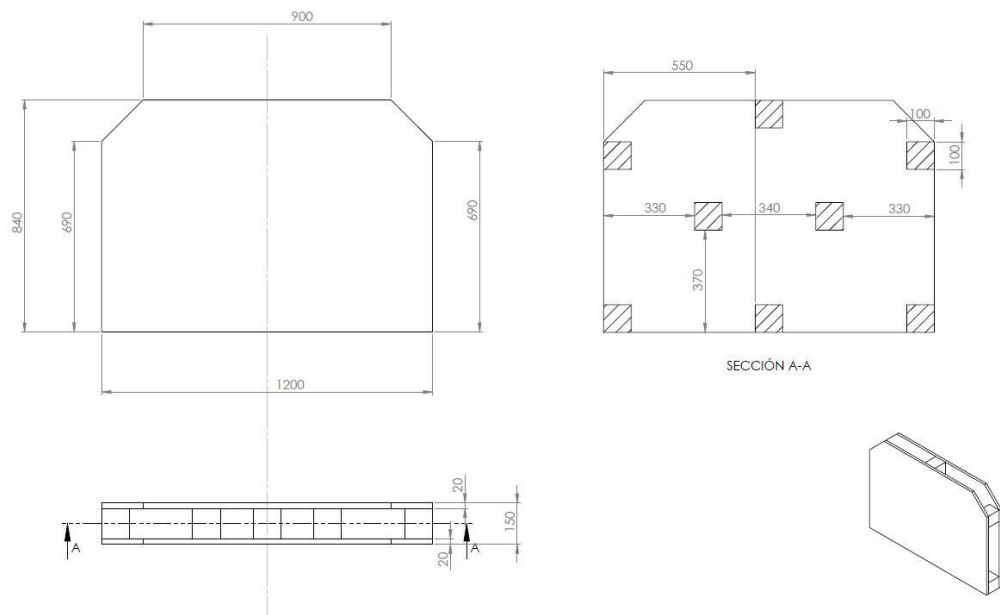


Figura 10.4.2 Representación del diseño del suplemento vertical

El montaje de los 24 suplementos verticales necesarios se realizará clavando una de las dos superficies planas directamente a la madera de la pared vertical del vagón con clavos de cabeza plana avellanada. Los demás elementos del suplemento se encolarán con adhesivo vinílico especial para carpintería.

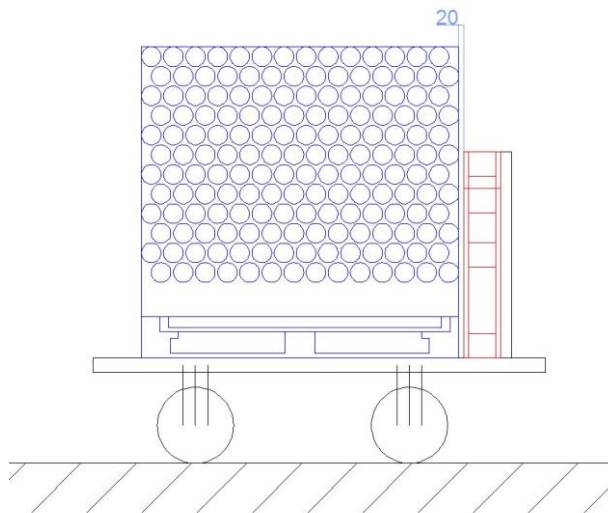


Figura 10.4.3 Representación del montaje del suplemento vertical

## 10.5. Sistema de guiado para el acceso y paro de los trenes a las posiciones de descarga

Uno de los puntos más críticos del proyecto es asegurar la repetitividad de las posiciones de descarga del AGV, que son los trenes manuales que posteriormente bajan a las cavas con los packs de botellas. Es por ello que se realiza un estudio de las trayectorias para posteriormente diseñar y ubicar en el layout unas guías capaces de posicionar los trenes con una repetitividad muy buena.

### 10.5.1. Estudio de las trayectorias de acceso a las posiciones de descarga

En primer lugar se realiza el estudio de las trayectorias de los trenes con los vagones de descarga. Hay dos posiciones de espera para los trenes antes de entrar a las posiciones de descarga. La primera está ubicada al lado de la posición de descarga 1 y sirve de acceso a las posiciones de descarga 2 y 3. La segunda está ubicada entre las posiciones de descarga 2 y 3 sirve de acceso a las posiciones 1 y 4.

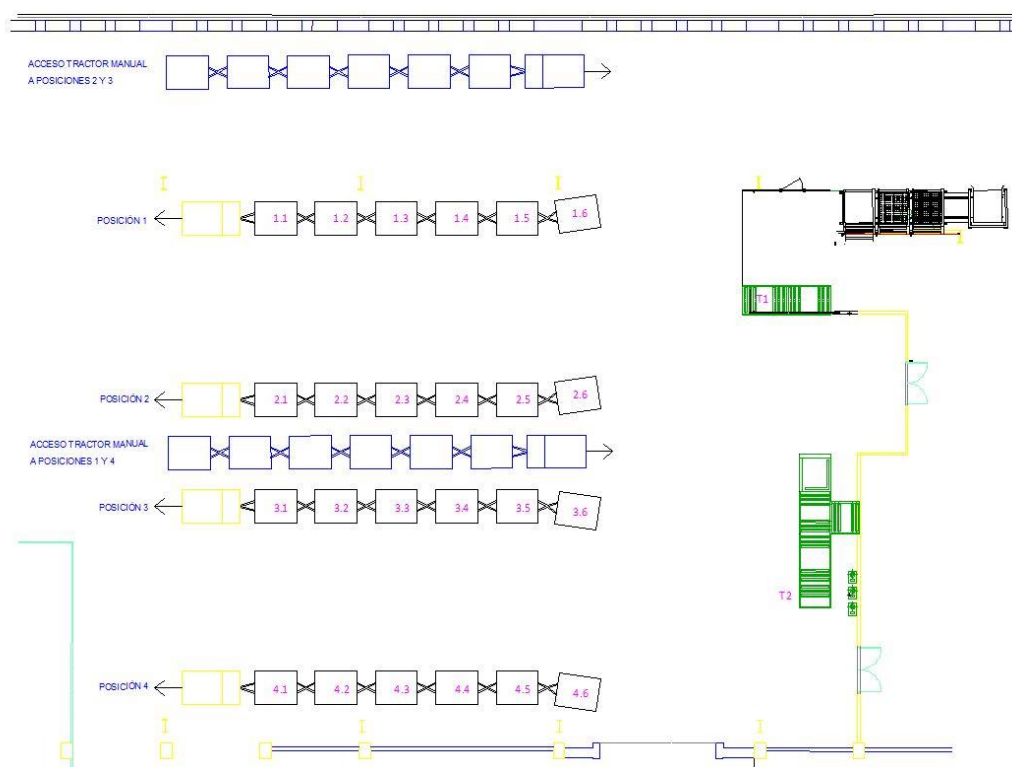


Figura 10.1.1 Ubicación de los accesos de los trenes a las posiciones de descarga

Cada tren está formado por un vehículo de arrastre Jungheinrich EZS 6250 con 6 vagones de dos ejes y dos ruedas por cada eje. El eje trasero de los vagones es fijo mientras que el delantero permite 40° de rotación respecto del punto central del mismo.



Se define una trayectoria para la posición 2 y se valida mediante el programa AutoTurn3D. Se trata de un Plug-in del software AutoCAD que permite analizar maniobras definidas por trayectorias dibujadas previamente con prácticamente cualquier tipo de vehículo y remolque. Anteriormente ha sido necesario definir la geometría del vehículo tractor y del conjunto de los 6 vagones en el programa.

A continuación se muestra un ejemplo de la trayectoria de acceso a la posición 1. La trayectoria del vehículo tractor se muestra en color rojo, mientras que el perímetro de arrastre del conjunto de los 6 remolques se muestra en color verde.

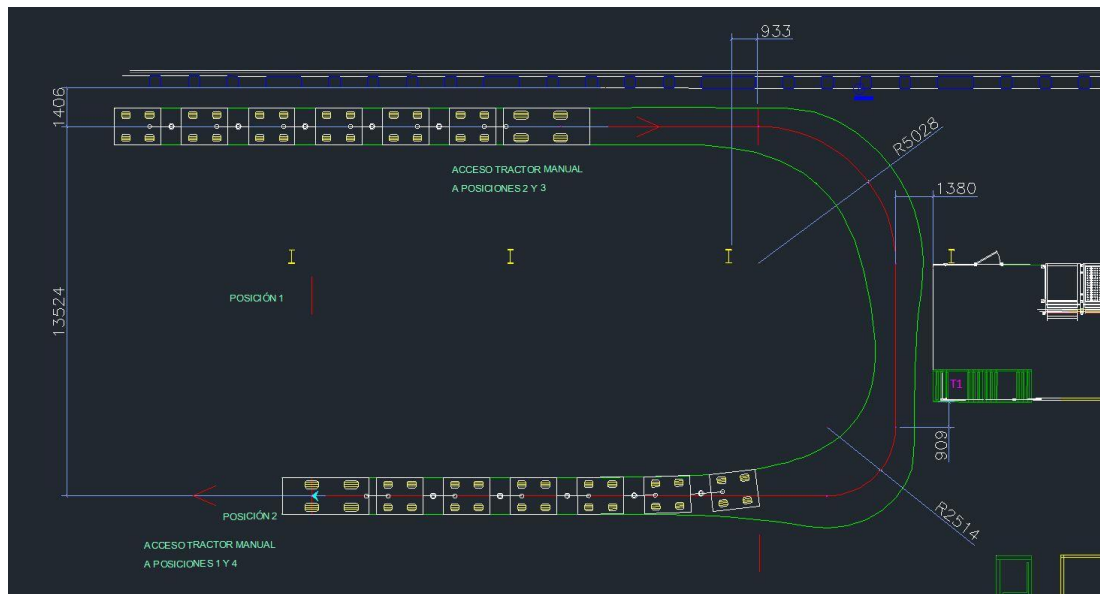


Figura 10.1.2 Trayectoria de acceso a la posición 2

Como se puede ver, el perímetro de arrastre no entra en conflicto con ningún elemento fijo de la instalación. Del mismo modo se validan las 3 otras trayectorias de acceso.

Se decide pintar las trayectorias con el ancho del tractor del tren en el suelo para que el conductor realice la trazada de la maniobra definida de la forma más precisa posible.

Otro factor que se deberá tener en cuenta en la programación de las maniobras de descarga es la desalineación de los dos últimos vagones. El camino asociado hacia los dos últimos vagones de cada posición ha de tener un cierto grado de inclinación, mientras que los de los otros vagones serán perpendiculares a la trayectoria de entrada a la posición.

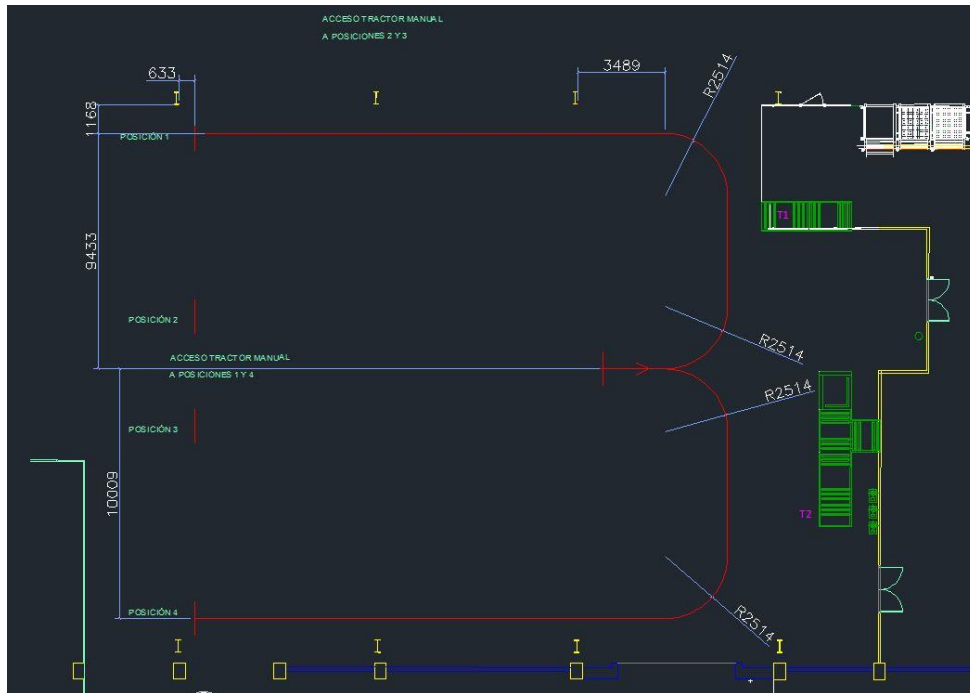


Figura 10.1.3 Trayectoria de acceso a las posiciones 1 y 4.

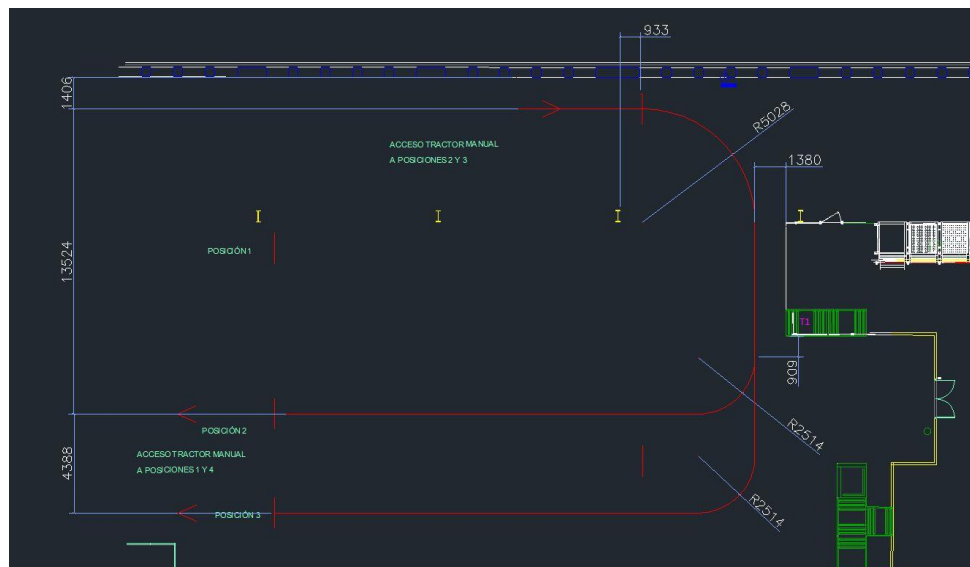


Figura 10.1.4 Trayectoria de acceso a las posiciones 2 y 3.

### 10.5.2. Diseño y ubicación de las guías mecánicas para el acceso de los trenes a las posiciones de descarga.

Para garantizar la repetitividad de la posición del tren cuando accede a las posiciones de descarga se realiza el diseño de tres tipos de guías, unas en forma de tramo recto para garantizar la alineación de los vagones, otras en forma de curva para suavizar las entradas

a las posiciones y evitar dañar los vagones innecesariamente y, por último, unas guías centrales que ayudan a los vagones a adoptar la correcta alineación de forma más rápida.

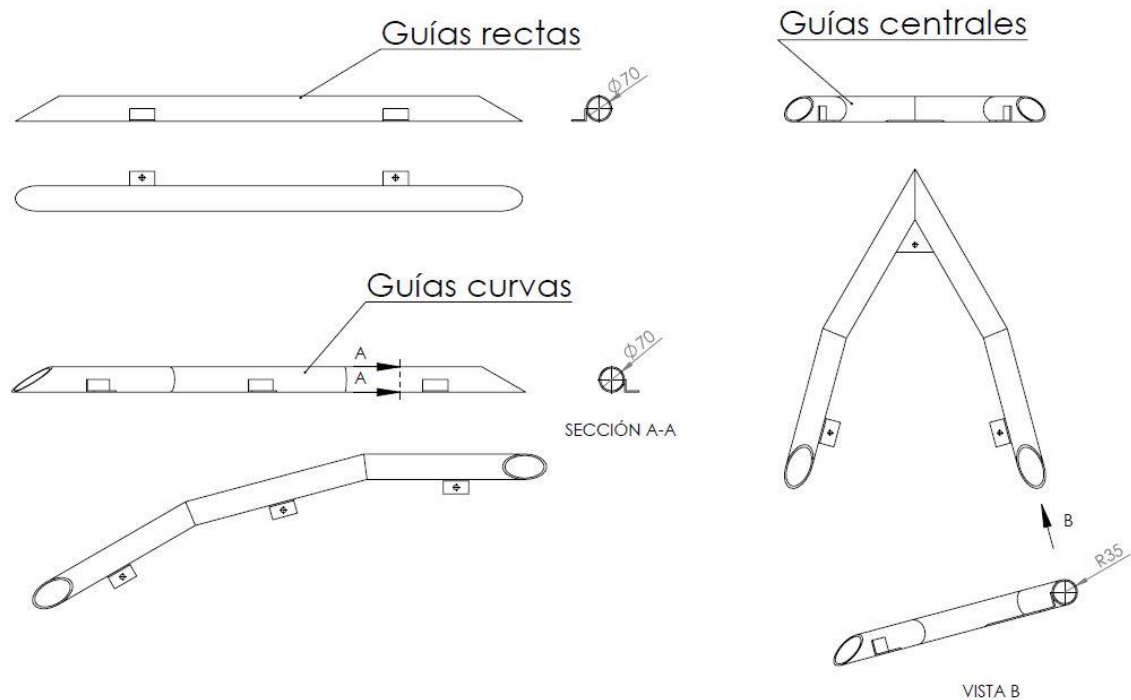


Figura 10.5.2.1 Detalle de los tres diseños de guías.

Las guías han sido fabricadas en perfil cilíndrico S235 de diámetro exterior 70 mm y pared de 4mm para garantizar un comportamiento óptimo frente a posibles colisiones con las ruedas de los trenes. Los extremos de las guías han sido suavizados a 30° y tapados con una pletina soldada para ganar rigidez en dichas zonas.

Las guías serán fijadas directamente al hormigón del suelo con tornillería HILTI M12 especial para obra fijación en pavimentos de hormigón. Para su fijación, se les ha soldado unas pestañas que parten de perfil de sección angular estándar en S235 de 35x40 mm con un taladro de diámetro 14 mm para albergar los tornillos M12 de fijación a hormigón.

Las guías se ubican en las posiciones de descarga de modo que no interfieran con la entrada de los estabilizadores de AGV, siempre conduciendo las ruedas del lado opuesto al de la descarga. La distancia entre interiores de guías queda definida por la posición relativa entre las ruedas laterales del tractor manual y de los vagones.

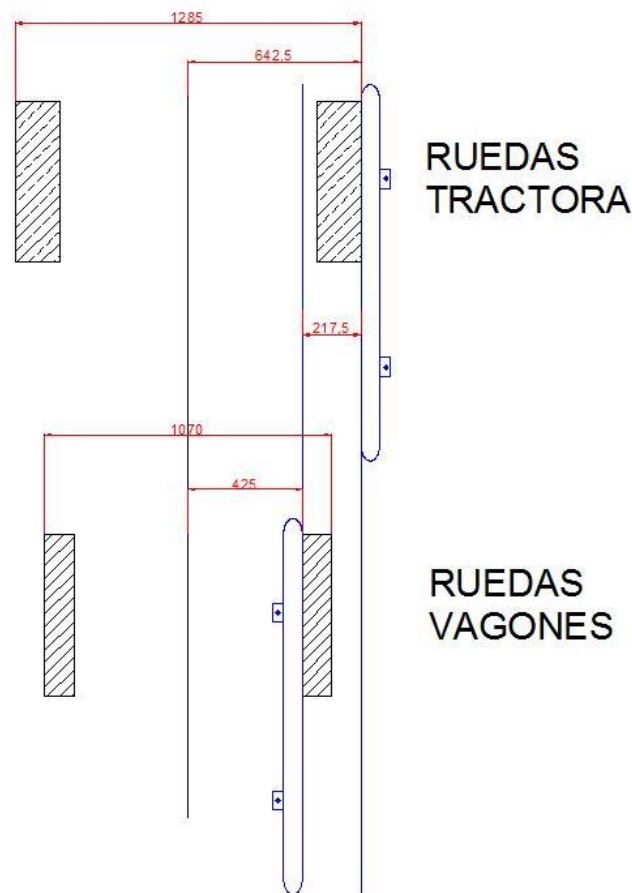


Figura 10.5.2.2 Detalle de los tres diseños de guías

La disposición para el montaje de las guías queda definida teóricamente con la herramienta usada Autoturn. Las guías se montan en función del perímetro de arrastre teórico de los trenes en obtenidos en el estudio del apartado 10.5.1. Una vez montadas con fijaciones provisionales se prueban en la instalación para corregir de modo empírico su posicionamiento. Posteriormente se comprueba la repetitividad de la maniobra de acceso a cada una de las cuatro posiciones tomando como referencia las distancias entre las ruedas de los vagones y las guías. Se montan para cada posición un total de 8 guías rectas, 2 guías curvas y 2 guías centrales.

### 10.5.3. Diseño y ubicación de los resaltes para la parada de los trenes.

Una vez validada mecánicamente la trayectoria y dirección de las posiciones de descarga de los trenes es necesario definir la parada de los mismos. Es muy importante garantizar una máxima repetitividad de la parada, puesto que, como se ha explicado anteriormente y como se puede apreciar en la Figura 10.4.3, entre la carga y el suplemento vertical han de haber 20 mm como mucho, correspondiente a la tolerancia de navegación del AGV.

Se propone un sistema mecánico tipo resalte-cuña en S235 para frenar una de las ruedas delanteras del tractor manual. La altura del mismo ha de ser suficientemente alta para obstaculizar el avance cuando la rueda del tractor recibe un par motor suave. Sin embargo, a pares más elevados, ha de ser un obstáculo superable. Para realizar el diseño se tiene en cuenta que, gracias a la posición relativa entre las ruedas del vehículo tractor y de los vagones, no será necesario que las ruedas de los vagones pasen por encima del resalte

Se propone el siguiente diseño:

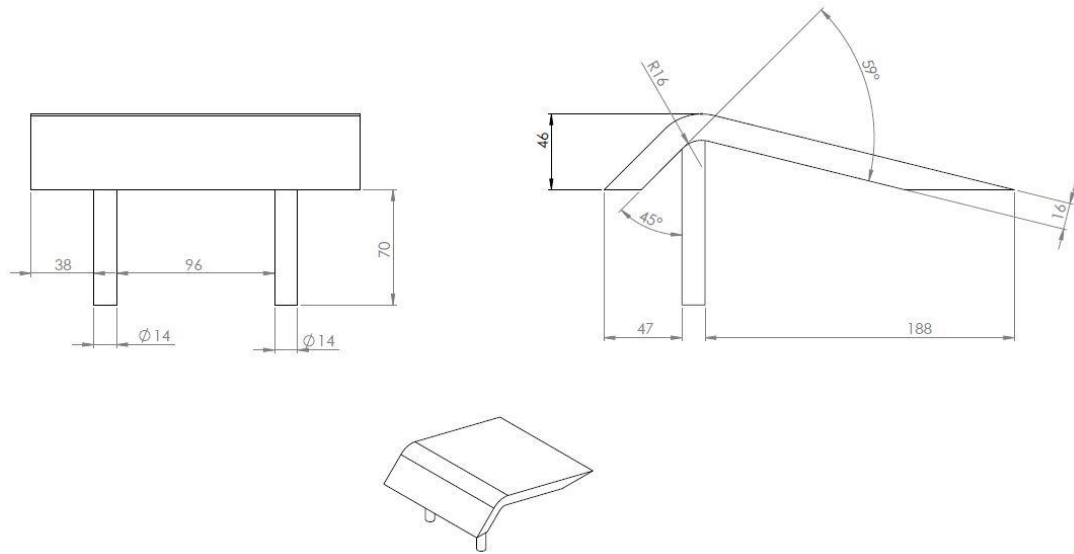


Figura 10.5.3.1 Representación 2D de los resaltes para la parada de los trenes.

El diseño propuesto se fija al hormigón del suelo mediante taco químico HILTI. Previamente se realizan dos taladros de diámetro 16 mm con broca para hormigón en el pavimento. Se montan un total de 4 resaltes, uno para cada posición de descarga.

Otro factor que es necesario tener en cuenta es la posición de parada de los vagones. Para eliminar el juego entre los enganches de cada remolque se propone un sistema mecánico tipo resalte-cuña que, bajo la misma premisa de diseño que el anterior, sea capaz de frenar una rueda trasera del último vagón. De este modo, las articulaciones de los enganches de cada vagón quedan en tensión y se conserva la misma distancia entre vagón y vagón con una precisión admisible.

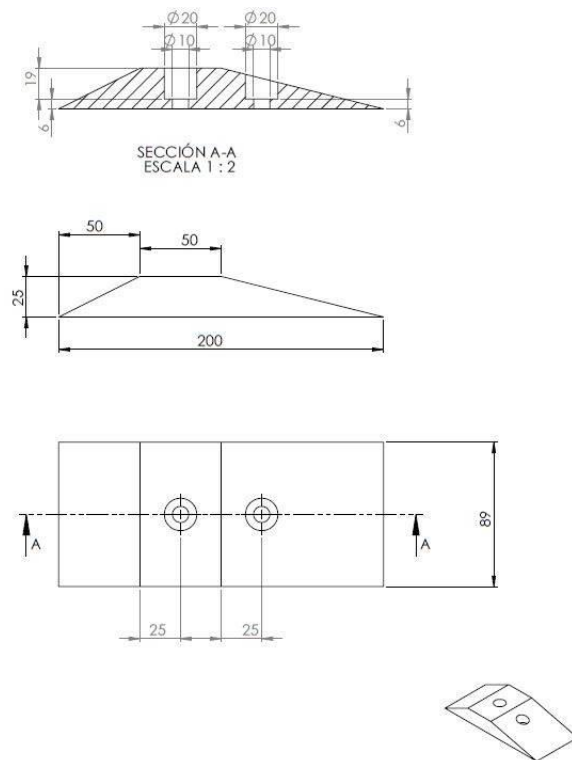


Figura 10.5.3.1 Representación 2D de los resaltes para la parada de los trenes.

En este caso la fabricación se realiza en nylon. Su mecanizado se realiza con un centro de mecanizado por control numérico. Se escoge un material más blando que el acero para minimizar daños en las ruedas de los carros, puesto que la mayor parte de las ruedas de los vagones de los trenes pasarán por encima de dichos resaltes. A su vez, el nylon presenta un comportamiento tenaz y tiene una buena resistencia a los impactos. Se montan un total de 16 resaltes, 4 por cada posición de descarga.

## 10.6. Ubicación de los reflectores en el área de trabajo.

Un punto muy importante a tener en cuenta es la ubicación de los reflectores para el guiado de los AGVs. En la instalación se utilizarán reflectores cilíndricos. Cada reflector está formado por un tubo de PVC de 110mm de diámetro por 800mm de largo y espesor 3mm. Alrededor de todo el tubo se pega papel adhesivo catadióptrico de celdas hexagonales, capaz de reflejar los haces de luz incidentes en la misma dirección de la que provienen. El reflector es capaz de reflejar la luz correspondiente a la longitud de onda láser de clase 1 que emite el escáner de navegación NAV350.

Para ubicar los reflectores es necesario tener en cuenta que se han de evitar simetrías que pudieran generar confusión en la diferenciación de las áreas de trabajo y en la orientación del AGV. Se ha de realizar dicha ubicación bajo la premisa de que en todo punto del área de trabajo los AGVs vean un mínimo de 3 reflectores a menos de 30m de distancia. Una vez ubicados en una primera configuración válida, se montan fijándolos a la pared de la nave mediante dos abrazaderas para tubo de PVC de 100-120mm de diámetro en los extremos del reflector. Se fijan en altura de modo que el punto central del reflector quede a 2350mm de altura respecto del suelo. Ésta es la distancia de lectura del escáner del AGV. Las abrazaderas se fijan a la pared mediante tornillería de M10 y tacos. Se montan un total de 21 reflectores, suficientes para un área de trabajo como la de la instalación.



*Fotografía 10.6.1. Reflector de tipo cilíndrico.*

Una vez montados los reflectores, se contrata un servicio de topografía para obtener una información precisa de la ubicación de cada reflector en el layout. Se facilita el plano en planta de la instalación, que es devuelto con la posición exacta de cada reflector referenciado a las paredes de la nave.

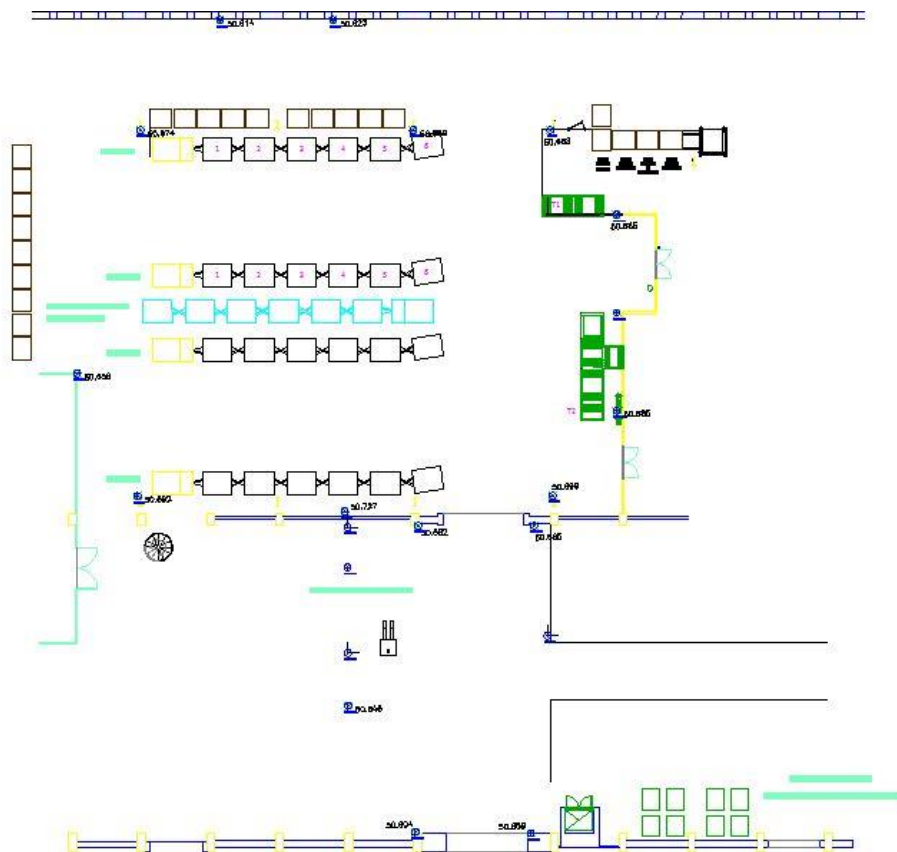


Figura 10.6.2. Ubicación topográfica de los reflectores en el layout.

Posteriormente se utilizará para incorporarlo en el archivo de programación de trayectorias para informar al AGV y al escáner NAV 350 de las coordenadas exactas de los reflectores.



## 10.7. Intercambiador rápido para baterías.

Por consecuencia de no haber sido posible contemplar un tiempo de carga de baterías en caliente en el dimensionamiento de la instalación, se realiza el diseño de un carro para poder hacer un cambio rápido de baterías al AGV. La altura de la transferencia de la batería del intercambiador es ajustable mediante dos manivelas. Son necesarios un total de dos intercambiadores, uno vacío donde ubicar la batería agotada del AGV y otro con la batería cargada lista para ubicar en el AGV. El intercambiador lleva un total de 6 rodillos para una transferencia sencilla:

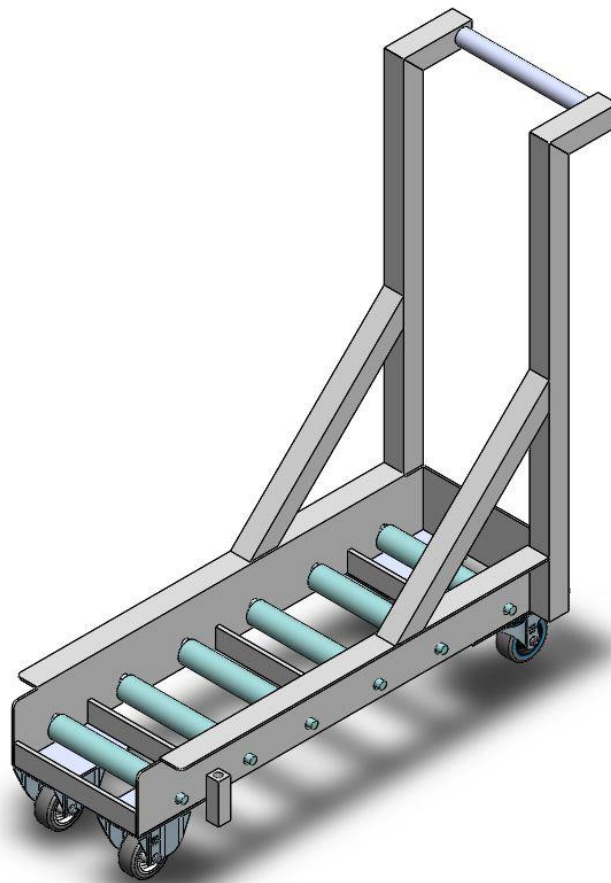


Figura 10.7.1. Representación 3D del intercambiador baterías AGV EGV-S20.

## **11. Señales eléctricas necesarias para la automatización. Elementos de detección y señalización.**

Para automatizar los procesos de transporte es necesario previamente definir las necesidades del proceso a nivel de señales. En la mayoría de automatismos, ciertas señales que provienen de algunos sensores encargados de, por ejemplo, detectar un cuerpo, desencadenan eventos y rutinas necesarios para seguir en el ciclo de la instalación.

Para que el sistema de gestión de tráfico utilizado en el proyecto pueda funcionar correctamente es necesario decirle de algún modo cuándo hay carga en las mesas de carga y si la mesa de carga está en error y no se debe utilizar. También ha de saber cuándo hay un tren ubicado de forma correcta en las posiciones de descarga. Es por ello que en cada una de las situaciones es necesaria la utilización de varios tipos de sensores de presencia.

El sistema de gestión de tráfico también puede dar información sobre estados del proceso de transporte o de en qué punto se encuentran los AGVs. Se ha de comunicar al autómatas que gestiona las mesas de rodillos de las posiciones de carga de la instalación que el AGV ha cargado correctamente el pack y lo ha retirado de la mesa. Además, se señala si los vagones de cada tren situado en cada posición de descarga son detectados correctamente y se valida su posición y qué vagones del tren tienen carga y cuales no durante el proceso de descarga de los AGVs. También se señala cuando los conductores de los trenes pueden acceder a las posiciones de descarga desde las posiciones de espera de acceso. Por último, se señala el correcto funcionamiento general de la instalación.

### **11.1. Señales de entrada**

#### **11.1.1. Mesas de transferencia**

Es necesario conocer cierta información sobre el estado de las mesas de carga. En este caso, al ser un elemento anterior a la instalación del proyecto, no será necesario ubicar ningún sensor extra, pues las señales necesarias para la gestión del tráfico las usa actualmente el autómatas que gestiona el control de las mesas. Básicamente son necesarias dos señales. La primera es una señal digital a 24 V de presencia de carga lista para el AGV. Se genera mediante un sensor fotoeléctrico OMRON



*Fotografía 11.1.1.1 Sensor fotoeléctrico OMRON*

La mesa lo utiliza como final de carrera para detener con precisión el pack.

La segunda es la señal de error de mesa, indica al AGV que en ningún caso debe acceder a la mesa.

Ambas señales se reciben del autómatas que controla las mesas de transferencia de la instalación ya existente en la planta de embotellado.

### **11.1.2. Trenes de descarga**

Es importante tener información sobre la presencia de los trenes en cada una de las 6 posiciones de descarga, así como el correcto posicionamiento de cada uno de los vagones del tren.

Por ello se instalan un sistema de perfiles a lo largo de las posiciones de descarga colgando del techo de la nave a una altura de 2,5 m para posicionar 6 sensores fotoeléctricos SICK orientados hacia el suelo con reflectores ubicados en las paredes verticales de cada vagón.

Los sensores fotoeléctricos detectan única y exclusivamente los reflectores, por lo que otros objetos como packs de botellas o la pared vertical del propio vagón no son detectados bajo ningún concepto.

El alcance de detección de los sensores fotoeléctricos es de 2 m, por lo que es suficiente con ajustarlos a la distancia de detección correspondiente. Con detección a 2 m se obtiene una precisión de  $\pm 10\text{mm}$ , suficiente para la validación de la posición de los vagones.

El sistema de perfiles conduce las mangueras de cableado al armario eléctrico a través de un sistema de bandejas de instalación eléctrica estándar. Dicha bandeja tiene taladros aprovechables para poder fijar los soportes de los sensores fotoeléctricos.

## **11.2. Señales de salida**

### **11.2.1. Mesa de transferencia**

Se comunica mediante dos señales digitales a 24 V, una para cada mesa, al autómata que controla las dos mesas de carga que la maniobra de carga del AGV se ha realizado de forma correcta. Es necesario conocer esa información para evitar posibles problemas con el volteador y el sistema de mesas de transferencia que acercan los packs a la zona de carga, que podrían admitir otro pack al dejar de tener presencia de pack cuando el AGV está realizando todavía la maniobra de alejamiento con carga.

### **11.2.2. Posición de los vagones de los trenes**

Se verifica la posición de cada uno de los 6 vagones de los trenes en las posiciones de descarga de forma visual cuando el tren entra en la posición.

Se instalan 4 balizas, una para cada posición de descarga de los trenes, con 6 luces verdes cada una, una para cada vagón del tren. Cada luz de la baliza se controla por separado y, al ser NPN para que se apague necesita una señal digital de 24V. Cada luz tiene asociado un relé en el armario CA1.

Cuando el tren entra a la posición, el sistema comprueba que todos los vagones están bien posicionados. Las luces se encienden si su fotocélula asociada detecta presencia de vagón. Si al cabo de 30 segundos todos los sensores dan presencia sin cambios en las señales, las 6 luces parpadean de forma síncrona indicando que dichas posiciones de descarga están disponibles. Si alguna fotocélula no detecta presencia de vagón no se encenderá su luz asociada en la baliza y no se generarán órdenes de descarga asociadas a ese convoy.

Cuando el AGV descarga en uno de los vagones, la luz de la baliza que le corresponde se apaga, y así sucesivamente para cada uno de los vagones. Cuando la última posición quede llena, todas las luces parpadean de forma síncrona con una frecuencia más rápida que la anterior avisando al conductor del tren que ya puede iniciar el transporte a las cavas. Es por ello que las balizas se ubican de forma que queden visibles para los conductores de los trenes. Se fijan a la pared directamente con tornillería M10 y tacos.

### 11.2.3. Semáforos de acceso a las posiciones de descarga para los trenes manuales.

Para evitar conflictos entre las trayectorias de transporte de los AGVs y de los trenes manuales, se instalan tres semáforos con dos luces, una verde y la otra roja. Cada semáforo se controla mediante dos señales digitales a 24 V, una para cada luz.



*Fotografía 11.2.3.1 Semáforos para los accesos de los trenes a las posiciones de descarga.*

Los semáforos indican a los conductores de los trenes situados en las posiciones de espera de acceso a las posiciones de descarga cuando pueden acceder a éstas. Es por ello que se ubican dentro del campo de visión de los conductores en los accesos a las posiciones de descarga. Se fijan a la pared directamente con tornillería M10 y tacos.

El sistema es capaz de saber la posición exacta de cada uno de los AGVs. Esto permite programar la señal de la luz roja de cada semáforo siempre que las dos posiciones del acceso correspondiente estén ocupadas o los AGVs estén circulando en la zona de las trayectorias de acceso a las posiciones.

### 11.2.4. Girofaro de error en la instalación.

Es necesario generar un aviso para la información de un mal funcionamiento de la instalación. En este caso, debido al ruido de las líneas de embotellado, se decide optar por una señalización visual antes que un aviso acústico. Por ello se instala un girofaro destellante en una posición visible para los operarios de las líneas de embotellado que se enciende cuando el sistema de gestión de tráfico entre en estado de error. Se fija a la pared directamente con tornillería M10 y tacos. El estado de error de la instalación puede ser debido a un error reportado por un AGV (Para más información sobre los errores más comunes en los AGVs, véase el ANEXO E Posibles errores del AGV EGV-S20), un error de posicionamiento de carga en las mesas de carga o un error de posicionamiento de los vagones de descarga. El mal funcionamiento por cualquiera de estas causas requiere la

intervención y actuación de un trabajador previamente formado y un posterior rearme en caso de que el error provenga de un AGV. No es necesario el rearme en el programa de gestión de tráfico. El girofaro se alimenta a 24 DC y va conectado a dos de las salidas del PLC, una para activarlo y la otra para generar destellos.

### 11.3.Posición de carga automática

El AGV EGV-S20 incorpora unas escobillas para la carga en caliente de las baterías. Están ubicadas en la parte frontal del vehículo, fijados al bastidor de modo que los contactos sobresalgan por debajo del chasis del vehículo 10mm. El AGV es capaz de posicionarse en la carga de baterías automáticamente cuando recibe la orden del gestor de tráfico. En el suelo se montan dos patines de carga para que el AGV pueda ubicar sus contactos encima de los mismos y empezar a cargar. Los patines fijos al suelo se conectan cada uno al positivo y negativo de un cargador contiguo a la posición de carga. El cargador instalado es especial para baterías de plomo-ácido e incorpora una función de seguridad que garantiza la apertura del circuito de carga a menos que reciba un mínimo de 21V (cuando el AGV tiene sus escobillas en contacto). De este modo se evita tener tensión y riesgo eléctrico en los patines fijos al suelo.



*Fotografía 11.3.1. Contactos Vahle para carretillas automatizadas.*

Los dos cargadores de las dos posiciones de carga automática de la instalación se conectan directamente a dos tomas de corriente de 220V monofásica en un cuadro instalado en una pared contigua. Dicho cuadro incorpora dos interruptores magnetotérmicos y su acometida proviene de un armario de distribución cercano de la instalación existente. Además, los cargadores incorporan fusibles de protección eléctrica.

## **11.4. Armario de control de la instalación. Ubicación de los elementos de campo. Cableado.**

### **11.4.1. Elementos del armario de control.**

Para concentrar el conexionado de todos los elementos eléctricos, es necesario ubicar un armario de control. Los elementos instalados en el cuadro de control son los siguientes:

- Fuente de alimentación AC/DC.
- CPU tipo PLC.
- Módulo de comunicación TCP Ethernet con conector RJ-45.
- Tres tarjetas de 16 entradas digitales y tres de 16 salidas digitales.
- Switch con 5 puertos RJ-45.
- Contactores y borneros necesarios para el conexionado de entradas y salidas digitales.
- Acometida con elementos de protección.
- Base para enchufe 220V Monofásico.

### **11.4.2. Ubicación de los elementos de campo.**

A continuación se muestra sobre el layout la ubicación exacta de todos los elementos de campo citados anteriormente.

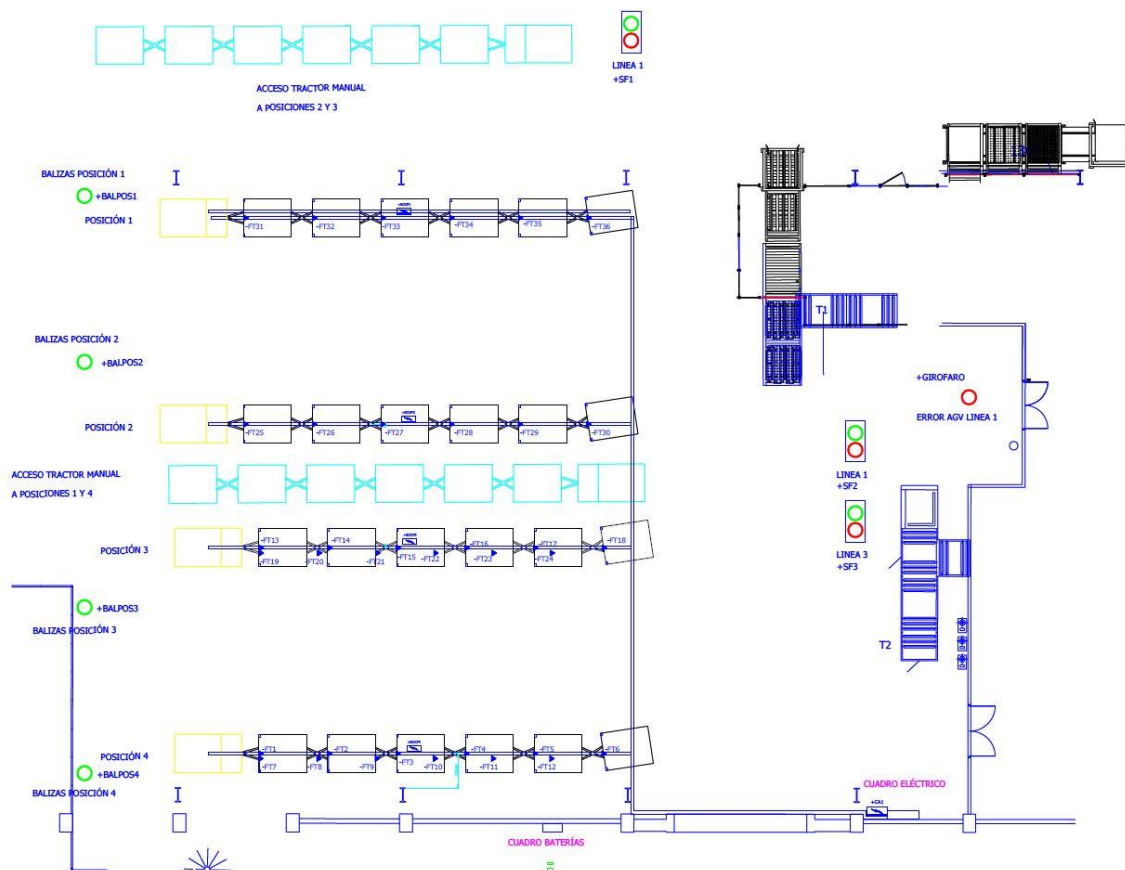


Figura 11.4.2.1. Ubicación de los elementos de campo en el Layout.

### 11.4.3. Paso de cables

El paso de cables se realiza desde el armario CA1.

Para cablear el sistema de detección del correcto posicionamiento de los vagones de cada convoy se utilizan 4 mangueras de 16x1mm de sección libre de halógenos. Estas pasan a través de bandeja eléctrica estándar ubicada encima de las posiciones de descarga. Dicha bandeja se monta a una altura de 2,5m, puesto que sirve de punto de fijación para los soportes de las fotocélulas. Cada una de las cuatro bandejas se soporta con un perfil de sección cuadrada 40x40x3mm a lo largo de ella en la parte superior. La misma se soporta con tres perfiles de sección igual montados en posición vertical fijos por la parte superior al techo de la nave. De este modo la bandeja queda colgando a una altura óptima para no entrar en conflicto con el paso del convoy. Del mismo modo se unen las cuatro bandejas con una sola que recoge las cuatro mangueras para llevarlas a CA1.

Para el cableado de las cuatro balizas de 6 LEDS se utilizan cuatro mangueras de 8x1 libres de halógenos. Las mangueras pasan a través de una bandeja eléctrica en altura ya



existente, fija en la pared de la instalación. Se utilizan grapas estándar fijadas a la pared para peinar las mangueras desde la bandeja hasta el equipo.

Para cablear los semáforos y el girofaro destellante se utilizan tres mangueras de 4x1 libras de halógenos. Las mangueras pasan a través de una bandeja eléctrica en altura ya existente, fija en la pared de la instalación. Se utilizan grapas estándar fijadas a la pared para peinar las mangueras desde la bandeja hasta el equipo.

Para los equipos que no tienen conector, se realizan conectores para realizar de forma sencilla labores de mantenimiento

## 12. Descripción del interfaz de comunicaciones.

Para establecer una comunicación entre el PLC que gestiona las señales de entrada y salida de los elementos de campo de la instalación y el software de gestión de tráfico TRAM, se utiliza el software TramCOM. Se trata de un programa que dialoga con ambos y traduce la información para que ambos puedan entender el estado de las señales digitales necesarias.

La comunicación entre el PLC y el TramCOM sigue el protocolo estándar MOD BUS TCP y es bidireccional. Físicamente están conectados mediante un cable Ethernet RJ-45 que va desde el módulo de comunicaciones Ethernet del PLC hasta un conector del servidor.

La comunicación entre el TRAM y el TramCOM sigue un protocolo especial impuesto por el TRAM llamado EasyLink. Se basa en la transferencia de cadenas de caracteres ASCII. Es parecido a una comunicación serie punto a punto.

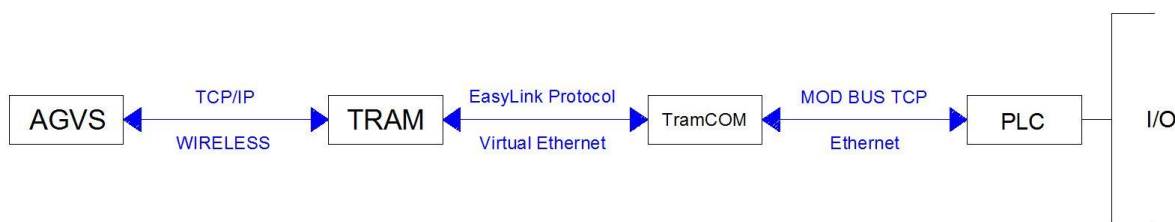


Figura 12.1. Esquema de comunicaciones de la instalación.

El TramCOM ha sido diseñado en código C# relativo a programación orientada a objetos. Tiene definidas clases de variables tales como PLC, PLCModbus, Tram... Cada clase tiene eventos definidos, como puede ser cambio de señal en las variables de entradas y salidas de clase PLC.

## 13. Definición del Layout.

Para que los AGVs puedan realizar los transportes en la instalación, es necesario primero definir las trayectorias entre los puntos de carga, descarga y estaciones de carga de batería. También es necesario ubicar los reflectores de posicionamiento en el layout para que los AGVs sepan en cada momento sus coordenadas exactas. Todo ello se realiza mediante un aplicativo para AutoCAD llamado LDK (Layout Definition Kit) [1].

### 13.1.Introducción al LDK.

La herramienta LDK funciona como un *plug in* de AutoCAD. Se compila con librerías de AutoDesk llamadas ObjectARX. Con la herramienta LDK se generan archivos con código de más bajo nivel llamados comandos y funciones ACE que se cargan directamente a los AGVs. Dichos comandos pueden ser de movimiento entre dos coordenadas pero también instrucciones para que el AGV realice una cierta tarea, como por ejemplo cambiar las zonas de seguridad de los escáneres.

### 13.2.Definición geométrica y técnica del AGV

Un paso previo para que el LDK calcule la trayectoria exacta que el vehículo realiza por su geometría es definirla en la configuración. También se definen parámetros referentes a la comunicación wifi IP y detalles técnicos del vehículo tales como el incremento del encoder de tracción, aceleración nominal del motor de tracción, ángulo máximo de giro de la rueda motriz, etc. LDK permite definir vehículos de tipo triciclo, diferencial y quad. Se escoge tipo triciclo y se completan los campos con los parámetros necesarios directamente del plano general del vehículo STILL EGV-S20, de su documentación técnica y de la documentación técnica de los elementos del kit de automatización del AGV.

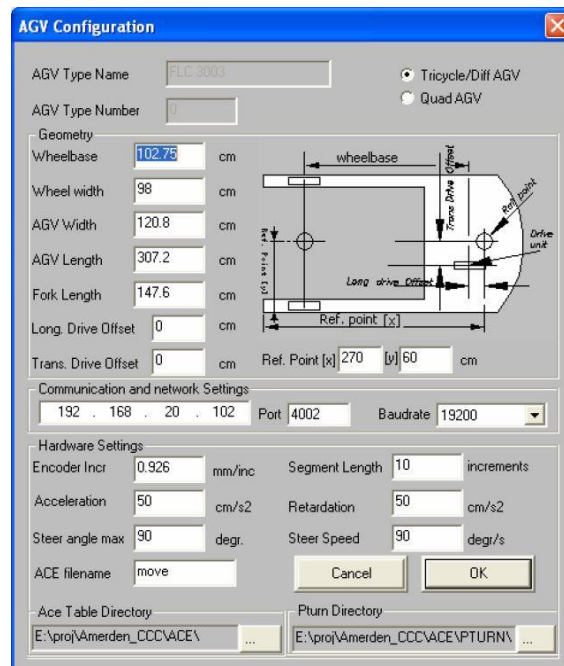


Figura 13.2.1. Ventana de configuración del AGV LDK [AE13]

## 13.3. Entidades LDK

Para la definición de las trayectorias que los AGVs han de seguir es imprescindible conocer primero los conceptos que han sido usados en la definición del layout de la instalación con los que el LDK trabaja.

### 13.3.1. Caminos o Paths

Un camino consiste en una línea guía dibujada en el layout a lo largo de la cual el AGV es capaz de moverse. Se trata de una línea con un punto de inicio y un punto final que se puede mover y ubicar según las necesidades del recorrido. Se suelen generar caminos asociados a puntos de carga, descarga, carga de baterías y uniones entre los citados. Para moverse a lo largo de los caminos, el AGV se abastece de las coordenadas de posición que obtiene del NAV350 para su correcto guiado.

### 13.3.2. Curvas o Pturns

Las curvas programadas son trayectorias que el AGV realiza gracias a los encoders de tracción y dirección. Cada curva se utiliza para unir dos caminos distintos. Existen varios tipos de curvas según las necesidades de la trayectoria. El tipo más común de curva es el normal, que optimiza la relación entre el radio de giro y la reacción de la tracción del AGV. De todos modos, en su definición se permite detallar el ángulo de giro, la velocidad lineal y

el radio. Para no tener que definir una curva cada vez que se quiera introducir una, el LDK permite reutilizar curvas definidas anteriormente. La trayectoria que se muestra de una curva es la que describe el punto central del eje de las ruedas estabilizadoras, es por eso que la forma no resulta intuitiva. La trayectoria que define la curva asegura que el punto de navegación del vehículo describe una trayectoria de radio constante.

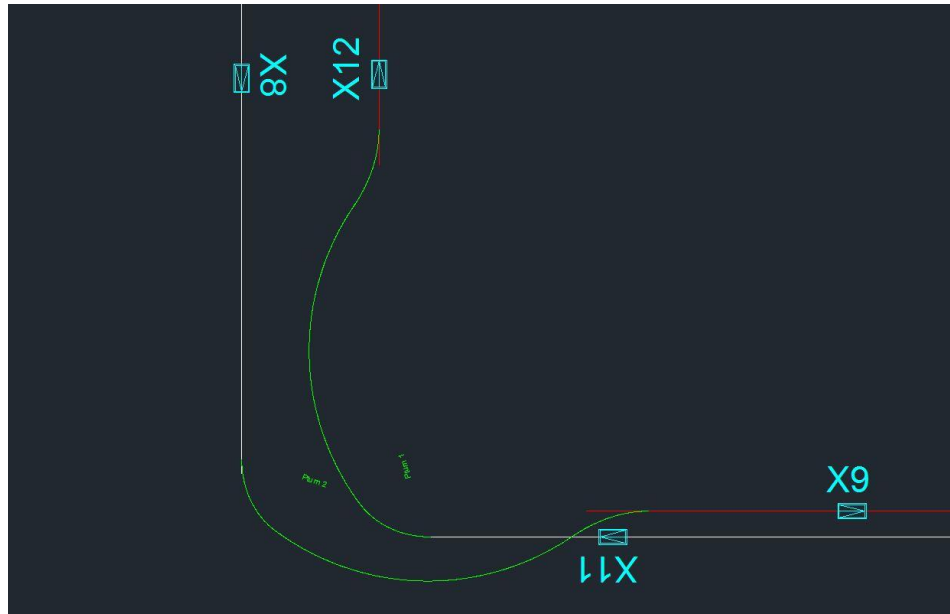


Figura 13.3.2.1. Ejemplo de curva (color verde)

### 13.3.3. Estación o Location.

El propósito de una estación es definir un punto en el layout dónde los AGVs puedan ser mandados. La estación siempre se define encima de un camino y hereda la dirección del mismo. Para definir una estación, basta con ubicarla encima de un camino e indicar el sentido de marcha.

Se pueden definir varias propiedades dentro de la configuración de la estación. Es aquí donde se debe establecer qué clase de estación es, como por ejemplo carga o descarga, o también si el AGV debe realizar alguna acción cuando esté en esa estación, carga automática de baterías, ajuste de la altura de las horquillas, etc.

En las estaciones de carga y descarga se debe indicar qué función de maniobra es necesario realizar en ese punto. Las funciones de carga y descarga están en las librerías de la herramienta ACE2000 y son modificables según las condiciones geométricas de la estación.

En la figura 13.3.2.1 se puede ver un ejemplo de caminos en color blanco y rojo, curvas en color verde y estaciones en color azul. Las estaciones de color azul son estaciones de paso mientras que las estaciones de color amarillo son posiciones de carga y/o descarga.

#### **13.3.4. Reflectores o Targets**

Es también con el LDK que se define la posición de los reflectores. El mismo tiene definidas ciertas capas de dibujo para albergar los reflectores. En cada capa caben un total de 32 reflectores, que son representados con un círculo de color azul oscuro con una cruz en su centro.

#### **13.3.5. Segmentos.**

Un segmento es un enlace entre dos estaciones. El enlace se guarda en formato de tabla ACE y contiene la información de las dos estaciones, los caminos y las curvas que forman el segmento. El AGV puede ir de una estación a otra siempre y cuando esas dos estaciones estén enlazadas mediante un segmento. Para definir el segmento es importante seleccionar las estaciones, los caminos y las curvas que lo forman en el orden correcto. El orden define el sentido de la marcha. Un segmento tiene un único sentido. Para poder ir en sentido contrario, es necesario definir otro segmento con el orden de selección invertido.

Los segmentos se definen mediante el gestor de tablas ACE. El mismo da la posibilidad de establecer la velocidad en el segmento marcha adelante y marcha atrás, además de gestionar la numeración y el banco al que pertenecen los segmentos. Cada banco admite un máximo de 100 segmentos. Los segmentos definidos se representan en una lista en el mismo menú, cada uno con el nombre de las dos estaciones que lo conforman en el orden correspondiente.

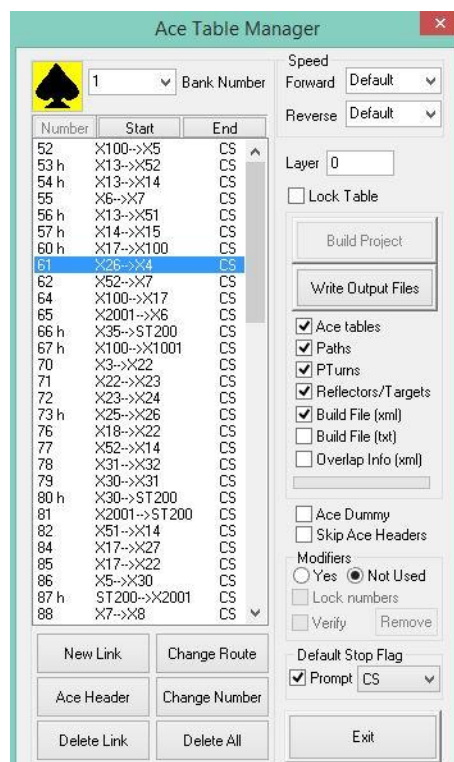


Figura 13.3.5.1. Tabla de gestión de Segmentos

## 13.4. Compilación y exportación a ACE2000

Una vez definido el layout es necesario realizar la compilación del programa. La compilación se realiza desde el gestor de tablas ACE. Si existen errores de compilación, se muestran al finalizarla. Un error típico es la mala ubicación de estaciones.

Una vez compilado el layout, es necesario exportar los archivos necesarios para que la herramienta ACE2000 conozca todas las instrucciones definidas en forma de tablas. Los archivos generados son tablas con extensión propia y un ejecutable.

## 13.5. Modificación del layout

En la mayoría de instalaciones es necesario ajustar algunas estaciones o caminos como por ejemplo los de entrada a estaciones de carga y descarga. Por ello, el layout puede ser modificado de varios modos. Una modificación típica es el desplazamiento de un camino de forma paralela. Para moverlo, es necesario usar la herramienta de autocar “Mover”, seleccionar el camino e indicar la dirección y cuántos milímetros se quiere desplazar. Todas las entidades previamente enlazadas se moverán sin afectar a otros caminos.

Para eliminar segmentos que se consideren innecesarios se realiza desde el gestor de tablas ACE. Basta con seleccionar de la lista el segmento innecesario y pulsar el botón "Delete Link".

### **13.6. Definición del Layout para el transporte de botellas paletizadas.**

En primer lugar, se dibujan 24 caminos correspondientes a las posiciones de descarga de la instalación, uno para cada vagón de descarga. Se dibujan de forma perpendicular a la posición teórica obtenida en el apartado 10.5.1. También se dibujan 2 caminos correspondientes a las posiciones de carga bajo la misma premisa. Se dibujan 2 caminos más correspondientes a las dos posiciones de carga de baterías automática.

Para los pasillos de las líneas 1 y 2 entre los dos trenes con las posiciones de descarga se definen 2 caminos horizontales para el acceso a las mismas. Cada camino está a una distancia de 3500mm con respecto al límite lateral del vagón de la posición correspondiente para garantizar el enderezamiento del vehículo al entrar a las posiciones de descarga. Los mismos caminos sirven para volver a la posición de carga.

Se definen 2 caminos verticales para unir los 4 caminos de los dos pasillos con los caminos correspondientes a las estaciones de carga y de carga de baterías automática.

Por último se definen 9 caminos auxiliares para suavizar las transiciones entre caminos principales y para establecer dos posiciones de espera estratégicas.

Se introducen 24 estaciones de descarga y 2 de carga en los caminos correspondientes con dos estaciones de espera auxiliares asociadas a las estaciones de carga ubicadas a una distancia de 400mm por detrás de las mismas. Las estaciones de carga y descarga se ubican a 2400mm de distancia del inicio de la posición de carga y descarga, distancia suficiente ya que el AGV hace de largo unos 2000mm. Se definen dos estaciones con carga automática de baterías. Se definen un total de 12 estaciones de paso distanciadas al menos 4m de distancia entre ellas para establecer bloqueos, 3 para cada camino de los dos pasillos de entrada a posiciones de descarga. Se definen 12 estaciones de paso asociadas a los demás caminos, con distancia entre ellas de 4m también.

Se realizan uniones mediante curvas entre todos los caminos de carga y descarga y sus caminos de pasillo correspondientes. Se unen también los caminos auxiliares y los de carga de baterías automática. Ha sido necesaria la definición de 8 tipos de curvas con radios distintos, pero las más usadas han sido los tipos 1 y 2. En todas las curvas de la instalación se establece una velocidad lineal de 40cm/s.



Se define la posición de los reflectores insertando en el documento del layout el archivo del estudio topográfico. Se utilizan las mismas referencias para que la posición de los mismos coincida con la mayor exactitud posible. Se definen uno a uno los reflectores ubicándolos encima de su posición teórica del dibujo importado.

Se realizan los enlaces entre estaciones mediante segmentos. Todos los segmentos se definen con velocidad por defecto, es decir, la que el programa de gestión de tráfico le dirá al AGV que tiene que llevar, exceptuando los segmentos de acceso a estaciones de carga, descarga y carga automática de baterías, que se predeterminan a 30cm/s.

Finalmente se compila el layout y se exportan los archivos a formato ACE2000.

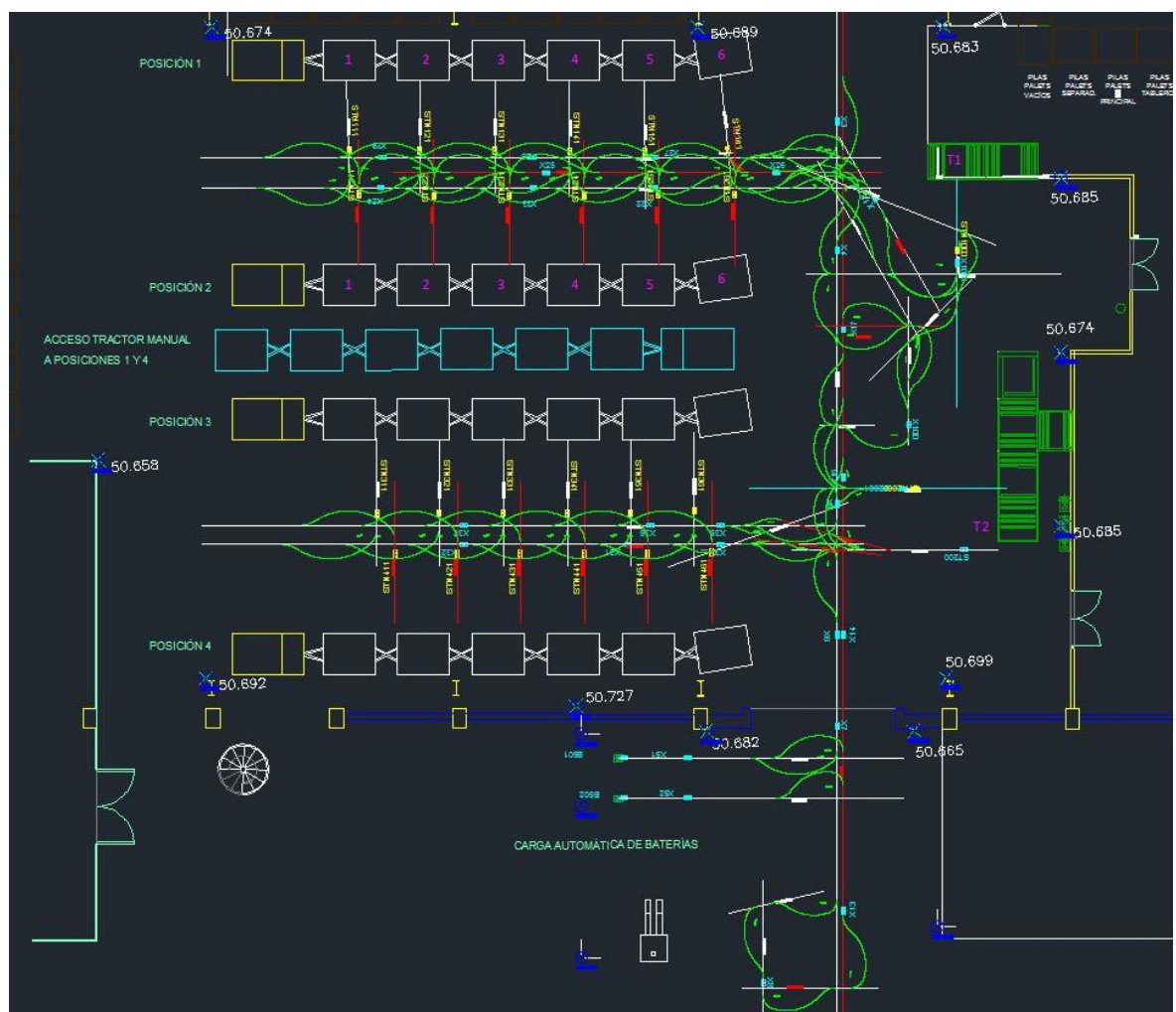


Figura 13.6.1. Definición del layout

## 14. Definición de maniobras de pick y drop.

Una vez obtenidos los archivos en formato .ace, es necesario utilizar la herramienta ACE2000 para definir las posiciones de carga y descarga. El entorno de la herramienta ACE2000 se basa en la organización por bancos de los archivos en forma de tablas generados por LDK visto en el apartado anterior. En los archivos generados encontramos tablas relativas a las coordenadas de los segmentos, ubicación de los reflectores, ubicación y desarrollo de las curvas además de parámetros relativos a velocidades y carga de baterías.

Es en el banco número 2 donde se encuentra la definición de las maniobras de carga y descarga asociadas a las posiciones correspondientes en el layout. Para poder modificarlas y adaptarlas a las necesidades de cada instalación se ha de modificar el archivo PKDR.ACE. En éste se encuentra la definición de todas las funciones de carga y descarga que el AGV puede realizar. Se pueden modificar las existentes en el programa base o se pueden programar nuevas.

Las funciones están compuestas por acciones. Cada línea de la función corresponde a una acción. Cuando el AGV ejecuta cada función lo hace en orden secuencial de acciones, es decir, hasta que no termina una acción, no ejecuta la siguiente. Cada acción se corresponde con una tarea física que el AGV puede llevar a cabo, como por ejemplo, avanzar ciertos milímetros, ajustar la velocidad de avance, posicionar las horquillas a cierta altura, cambiar el área de los escáneres de seguridad...

Es necesaria la definición de cuatro tipos de maniobras según las posiciones de carga y descarga. Para definir las, se utiliza la información relativa a la geometría de las posiciones de carga y descarga contempladas en el apartado 3.

### 14.1. Maniobras de carga

Se definen dos maniobras de carga para la instalación, una para la estación de carga de L1 y otra para la de L2. En ambos casos se escoge como plantilla de la maniobra de carga en altura. Se definen como dos funciones con nombres distintos.

La definición de la maniobra para la carga en L1 es la siguiente. La descripción de cada acción se encuentra en color verde a su derecha.

```

-----
; PICKING LOAD ON CONVEYOR L1 // CARGA EN ALTURA L1
-----
#TAB PICKC 22

TAB B1 RSCANNER_OF ; Escáner trasero mínimo
GOTO PEMU IF AGVESIM ; Rutina distinta si estamos en simulador
FTIP_PH_EN ; Activar sensores fotoelectricos de horquillas
SPEED 100 LIFT ; Ajustar LIFT velocidad
AABS LIFT 370 ; AJUSTAR altura LIFT para mesa, ADJUST !!!
MAX PERR2 DRV 165 ; Se debe encontrar la carga a los 165 cm, ADJUST !!!
SPEED -20 ; Reducir velocidad
DIST 75 F ; Always go this distance
LW_DI ; Disable load watch
DIST 76 F S ; Always go this distance
SPEED -5 ; Reducir velocidad antes de que encontremos carga
SENS LOAD_FLAP ; Avanzar hasta que el sensor de carga se active
DIST 3 F S ; Freno y paro, avanzar para dar un empuje final a la carga
MAX RES ; Reset del comando MAX
SPEED 50 LIFT ; Ajustar LIFT velocidad
ADIST LIFT UP 150 ; Subir LIFT para despejar la carga de la estacion, ADJUST!!!
GOTO PFEND2 IFNOT LOAD_FLAP ; Generar error si el sensor de carga no esta activo
LOADED ; Decir al TRAM que el AGV esta cargado
LW_EN ; Enable load watch
SPEED 30
DIST 170 F S ; Avance en cm
FTIP_PH_DI ; Desactivar sensores fotoelectricos de horquillas
SPEED 100 LIFT ; Ajustar LIFT velocidad
AABS LIFT TRPOS C ; Ajustar altura LIFT a la posicion de transporte
TAB B1 RSCANNER_ST ; Escáner trasero standard
RET

```

Figura 14.1.1. Definición de las maniobras de carga

Para la maniobra de carga en L2 se cambia solamente el valor de altura de las horquillas antes de entrar a por la carga. Se define una altura de 545mm.

Un parámetro importante a tener en cuenta en el ajuste de la puesta en marcha de la instalación es la distancia recorrida por el AGV antes de encontrar la carga. Ésta se puede recalcular y se pueden reemplazar los valores de avance a distintas velocidades (líneas de código comentadas con “Always go this distance”). Dicho ajuste debe realizarse tanto en las maniobras de carga como en las de descarga y debe ser acorde con la ubicación en el layout de las estaciones asociadas a la maniobra.

## 14.2. Maniobras de descarga

Se definen dos maniobras de descarga para la instalación, una para los vagones de L1 y otra para los de L2. En ambos casos se escoge como plantilla de la maniobra de descarga en altura. Se definen como dos funciones con nombres distintos.

La definición de la maniobra para la descarga en L1 es la siguiente. La descripción de cada acción se encuentra en color verde a su derecha.

```

-----
DROPPING LOAD ON CONVEYOR L1
-----

#TAB DROPC 23

TAB B1 RSCANNER_OF ; Escáner trasero mínimo
GOTO DEMU IF AGVESIM ; Rutina distinta si estamos en simulador
GOTO PFEND IFNOT LOAD_FLAP ; Generar error si el sensor de carga no esta activo
LOADED ; Decir al TRAM que el AGV esta cargado
LW_EN ; Enable load watch
FTIP_PH_EN ; Activar sensores fotoelectricos de horquillas
SPEED 100 LIFT ; Ajustar LIFT velocidad
AABS LIFT 1500 ; Ajustar altura de entrada a posicion de descarga, ADJUST !!!
SPEED -40 ; Ajustar velocidad marcha atras
DIST 140 F S ; Avanzar hasta la posicion de descarga
SPEED -5 ; Reducir velocidad antes de llegar a la posicion de descarga
DIST 15 F S ; Ajuste final para la posicion de descarga
LW_DI ; Disable load watch
FTIP_PH_DI ; Desactivar sensores fotoelectricos de horquillas
SPEED 75 LIFT ; Ajustar LIFT velocidad
AABS LIFT 1280 ; Ajustar altura de las horquillas a la altura de descarga, ADJUST
UNLOADED ; Decir a TRAM que el AGV no tiene carga
SPEED 50 ; Ajustar velocidad de avance
DIST 158 F S ; avanzar hasta salir de la posicion de descarga
LW_EN ; Enable load watch
SPEED 100 LIFT ; Ajustar LIFT velocidad
AABS LIFT TRPOS C ; Ajustar altura LIFT a la posicion de transporte
TAB B1 RSCANNER_OF ; Escáner trasero standard

RET

```

Figura 14.2.1. Definición de las maniobras de descarga

Para la maniobra de descarga en L2 se cambia solamente el valor de altura de las horquillas en el momento de dejar la carga. Se define una altura de 1260mm.

## 15. Sistema de gestión de tráfico TRAM. Simulación de la instalación.

El software TRAM [2] es un sistema autónomo para la gestión y el control de AGVs, que puede ser instalado en sistemas basados en Windows. El TRAM ha sido diseñado para ser la base común de todos los proyectos basados en AGVs con el sistema de control AGVE.

El TRAM permite la gestión de los elementos de campo de la instalación, así como de los trabajos o transportes que se generan, restan en cola, se asignan y se finalizan. También es capaz de determinar los caminos más cortos entre dos puntos a través de la información de las estaciones y segmentos de la instalación. Es en el TRAM donde se definen también los bloqueos entre los AGVs para que nunca coincidan en una misma área cercana. También avisa si un AGV está bajo de batería y, si es necesario, lo manda a cargar baterías a la posición de carga automática.

Todos los ajustes necesarios para que la instalación funcione correctamente se deben realizar con la aplicación TRAMConfig. Todas las acciones a nivel usuario de la instalación, como puede ser generar una orden de trabajo manualmente o consultar el histórico de transportes se han de realizar a través de la aplicación TRAMUser.

### 15.1. Configuración del TRAM

Con la aplicación TRAMConfig se ajusta el sistema TRAM para cada proyecto. En primer lugar se debe cargar toda la información del layout generada previamente con el LDK. El TRAM utiliza la información de las estaciones, segmentos y las relaciones que existen entre ellos.

#### 15.1.1. Señales de entrada y salida.

Se configura en primer lugar la comunicación entre el PLC de campo y el TRAM mediante MOD BUS TCP. También se definen las señales de entrada y salida asociadas a los elementos de campo y la lógica de control que se emplea para que el sistema realice ciertas acciones en función de los estados de las señales de entrada. Dicha lógica se programa en la ventana de configuración de cada segmento. En la entrada o salida de cada segmento se permite activar o desactivar señales digitales:

- Mesas de carga: Se utilizan dos señales de entrada para cada mesa. La señal de presencia de palet genera una orden de transporte asociada a esa posición. Los

AGVs realizarán la orden siempre y cuando tengan posiciones disponibles para descargar en los vagones. La señal de error impide a los AGVs el acceso a la posición de carga asociada. Es generada por la instalación existente. Se utiliza una señal de salida para cada mesa para confirmar la finalización de la maniobra de carga. Al final de cada carga, el TRAM activará la señal para que el sistema exterior pueda funcionar otra vez.

- Vagones de descarga: Se utilizan 6 señales de entrada asociadas a cada vagón para cada uno de los 4 trenes. La señal indica si el vagón está bien posicionado. Cuando las 6 señales están activas más de 30 segundos de forma continua, el TRAM habilita dichas posiciones para que sean destino de transporte de cada línea. Serán llenadas de forma ordenada, empezando por el vagón más cercano a la tractora. Dentro de cada línea, se llena cada convoy siguiendo el modelo FIFO. Se utilizan también 6 señales de salida para la visualización del correcto posicionamiento de los vagones mediante las balizas LED. Están apagadas cuando las fotocélulas no detectan vagón. Cuando una fotocélula detecta presencia de vagón, enciende el LED de la baliza asociado. Cuando los 6 LEDs permanecen 30 segundos seguidos encendidos, empiezan a parpadear de forma síncrona con frecuencia baja indicando la habilitación de sus posiciones de carga. Conforme se realicen los transportes a dichos destinos, los LEDs se van apagando correspondientemente hasta que se realiza el último asociado a dicho convoy. En ese momento el TRAM hace parpadear las 6 luces de forma síncrona y con frecuencia rápida, indicando al conductor que el convoy está completamente cargado y puede marcharse.
- Semáforos: Indican el paso de los AGVs para el conocimiento de los conductores de los convoys. Permanece en rojo cuando los AGVs están cruzando la zona de las trayectorias de entrada a posiciones de descarga de los convoys. El TRAM cambia el color del semáforo mediante dos señales de salida conociendo en todo momento la posición de los AGVs en el layout. En la casilla “Entry Actions” de figura 15.1.1.1 se puede ver como al entrar al segmento se activan las señales de los dos semáforos (Traffic light 1,3 Red) y se le dice a la mesa de L1 que ya ha sido descargada de forma correcta (AGV NOT pos1000).



**Define Track Segment**

**Basics**

Identity: 370

Start Location: X1001 Start Floor: 0

End Location: X18 End Floor: 0

**Driving Properties**

AGV Move Command: B85A000098120000X

Bank-Table-Modifier: 0 (1) h5A (90) h000 (0)

Destination Location: h120 (18)

Drive Attribute: P->P

Layout Reference: ---

**Layout Properties**

Length (mm): 5716 Passing Enabled: ☒

Calc Speed (mm/sec): 587 Locking Enabled: ☒

Flying Arrival (cm): 371 Lock Next Segment: ☒

Unlock Offset (cm): 200 Request Child Segment: ☐

AGVS in Segment: 1 Accept Parent Request: ☐

Unlock Adds@Offset: ☐

Add. Segment Length (m): 0

**Additional Lockings**

Additional	Description	Sweep
1	5005 -- Area Line 1	
2	5009 -- 18-4-26-3	
3		
4		
5		
6		
7		
8		

**Entry Actions**

Index	Function	Class	Object
1	Set Signal = 1	Signal	9 -- Traffic Light 1 Red
2	Set Signal = 1	Signal	13 -- Traffic Light 3 Red
3	Set Signal = 1	Signal	3 -- AGV NOT pos 1000
4			
5			
6			
7			
8			

**Exit Actions**

Index	Function	Class	Object
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Apply Cancel

Figura 15.1.1.1. Ventana de configuración del segmento X1001 – X18.

- Girofaro de error en la instalación: Cuando un error en la instalación esté activo más de 30 segundos, el TRAM activa el girofaro para indicar el error al personal de la instalación. El estado de error de la instalación puede ser debido a un error reportado por un AGV, un error de posicionamiento de carga en las mesas de carga o un error de posicionamiento de los vagones de descarga. El mal funcionamiento por cualquiera de estas causas requiere la intervención y actuación de un trabajador previamente formado y un posterior rearme en caso de que el error provenga de un AGV.

### 15.1.2. Asignación de trabajos.

Es necesario también determinar los parámetros de asignación de trabajos. En este caso, si las dos líneas están trabajando, a cada AGV se le asignan trabajos de una línea solamente. Los trabajos son asignados siempre en la estación anterior a las estaciones de carga de ambas líneas, concretamente en las estaciones X1001 y X2001. Es por ello que también se define que cuando un AGV termina un transporte y la gestión de trabajos esté activada, siempre se dirijan hacia dichas estaciones. Cuando un AGV se encuentre en estado de batería baja, termina el trabajo que está realizando y se va la estación de carga

de baterías. Ningún transporte se le será asignado. Cuando el AGV está ubicado en la posición de carga de baterías, el TRAM le ordena que active el contactor que le permite cerrar el circuito de carga de baterías automática. Se define también que si el modo trabajo no está habilitado, los AGVs vayan a cargar baterías.

### 15.1.3. Bloqueos

También se definen los bloqueos entre los dos AGVs. Un bloqueo es la imposibilidad de un AGV que se encuentra en un segmento determinado a entrar en otro segmento que esté siendo utilizado o bloqueado por otro AGV. Por defecto, en todas las instalaciones existe el concepto de bloqueo por siguiente segmento. Ningún AGV entrará en ningún segmento que esté siendo ocupado por otro AGV en ese momento. El AGV bloqueado detendrá la marcha y esperará a que ese segmento esté libre para poder entrar en él. Es por este motivo que las estaciones se suelen ubicar a una distancia del doble del largo de los AGVs entre ellas por seguridad. En la instalación se tiene en cuenta la situación de más confluencia de AGVs, que es cuando los dos están trabajando en L1.

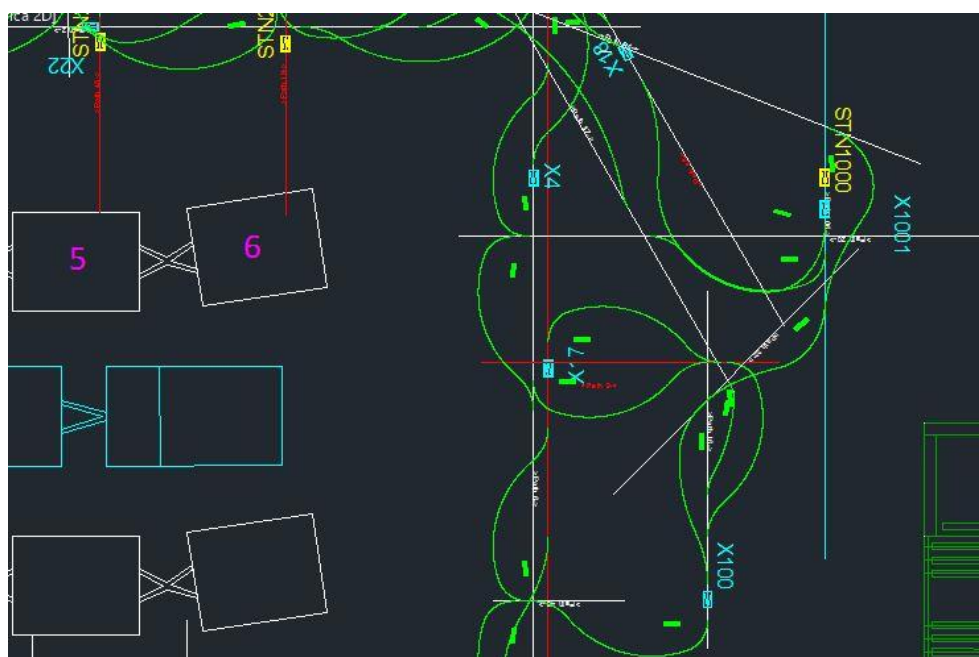


Figura 15.1.3.1. Disposición de estaciones para la entrada a la mesa de L1.

Se define un bloqueo en todo el pasillo entre las posiciones de descarga 1 y 2, de tal modo que si un AGV está en ese pasillo, el otro nunca va a poder entrar. Éste se queda en la zona de carga de L1 X1001 esperando a que el AGV que estaba en el pasillo llegue vacío a la estación de espera X100. Cuando éste llega, desbloquea la zona y da paso al otro AGV, que se dirige al pasillo de descarga. Al salir de X1001 desbloquea la zona de descarga para que el que estaba esperando en X100 pueda entrar a descargar.



En la ventana de configuración de cada segmento se encuentra una casilla donde incorporar los segmentos que dicho segmento se quiere que bloquee.

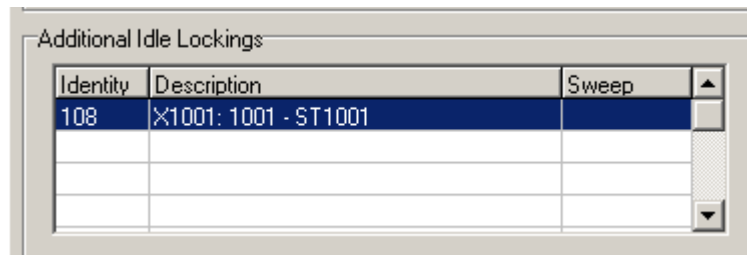


Figura 15.1.3.2. Ventana de bloqueos del segmento X100-X1000.

## 15.2.Simulación

La herramienta TRAM permite realizar una simulación de la instalación para verificar sus ajustes. La simulación hace uso exactamente de las mismas configuraciones y módulos que finalmente se usan en el sistema real. La principal diferencia es que los AGVs se emulan con un paquete externo al TRAM llamado AGVEsim. El paquete permite definir y emular el número de AGVs que la instalación real tiene y hace que los AGVs virtuales se comporten de la misma forma que los AGVs normales: misma velocidad, consumo de baterías... Los AGVs virtuales ejecutan las órdenes de trabajo que el TRAM le envía del mismo modo que los AGVs normales. De hecho, para el TRAM es imposible “ver” la diferencia entre un AGV normal y uno virtual.

En primer lugar se configuran los AGVs virtuales mediante la herramienta AGVEsim, del mismo modo que se haría con un AGV normal. A continuación se muestra la ventana que simula un AGV virtual ya configurado.

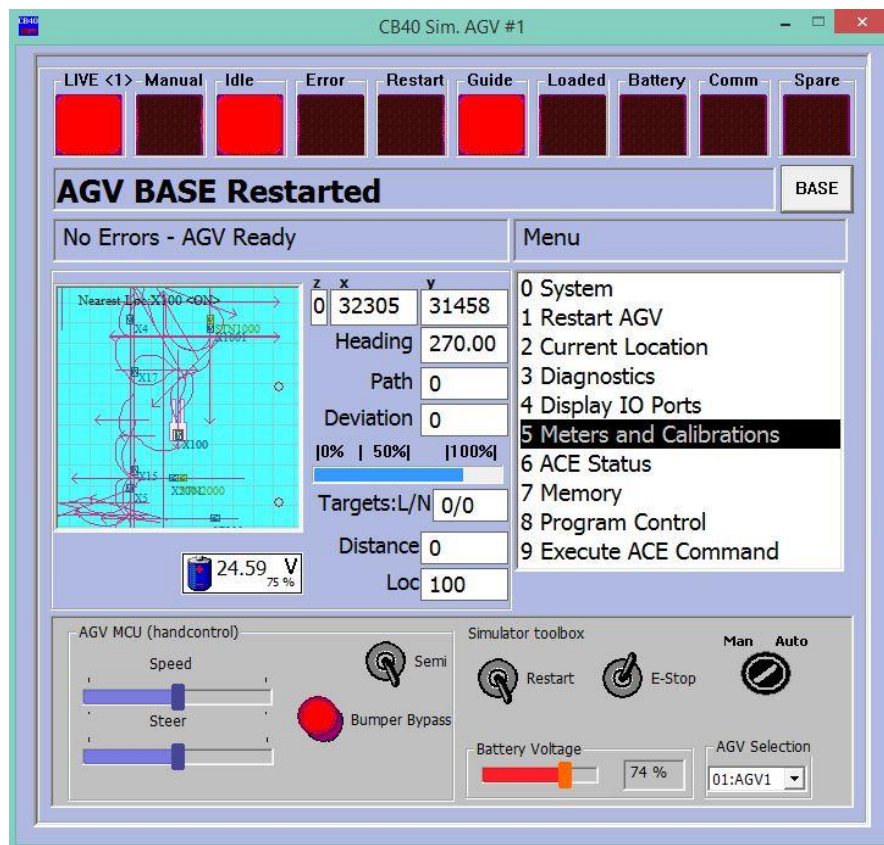


Figura 15.2.1. Ventana de simulación AGVESim.

Para el estudio de la instalación se realizan dos tipos de simulaciones. La primera se realiza con el fin de comprobar los bloqueos de la instalación y controlar la fluidez de trabajo. Para ello se simula el trabajo en L1 con los dos AGVs trabajando simultáneamente, ya que es la única zona donde pueden coincidir a la vez.

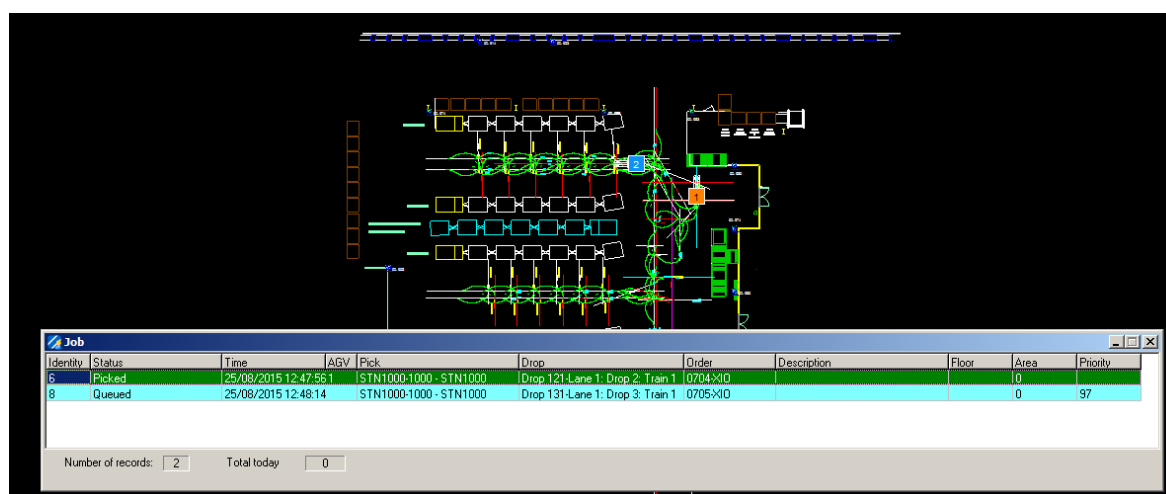


Figura 15.2.2. Simulación de la instalación con bloqueo del AGV1 en naranja.

Se validan todos los bloqueos introduciendo órdenes de transporte manualmente para crear un flujo de trabajo real máximo. En la figura 15.2.2 se aprecia como el AGV1 en color naranja ya ha cogido la carga y está en la estación X1001 bloqueado por el AGV2 hasta que éste llegue a la estación X100.

Se realiza una segunda simulación esta vez con un solo AGV trabajando en L1. Se realiza para tener una medida orientativa de la cadencia que el AGV puede dar en la situación más crítica de la instalación. También se verifica la unión de todos los segmentos realizando todos los caminos posibles de la instalación. Para el análisis de la cadencia se introducen órdenes de trabajo manualmente y se llenan las 6 posiciones de uno de los dos trenes de L1.

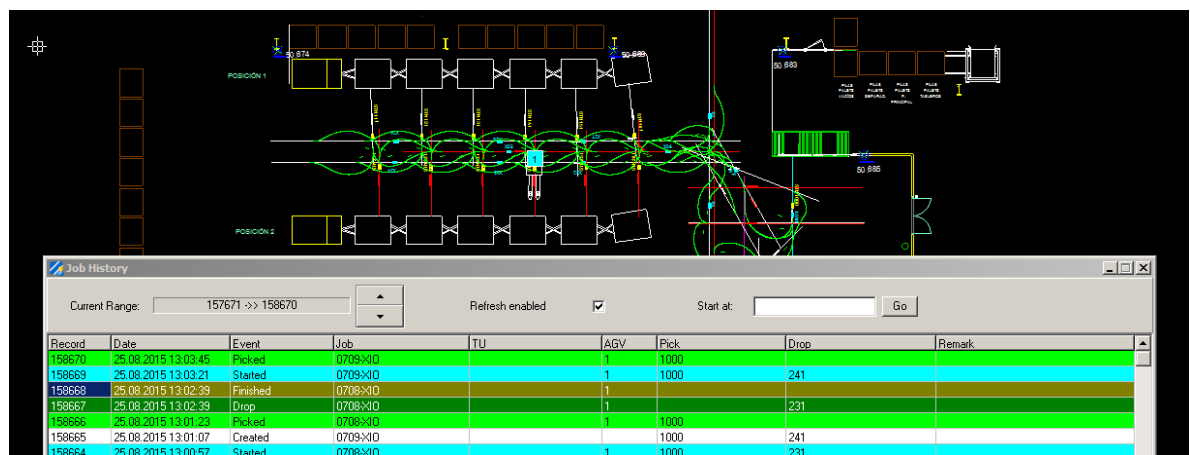


Figura 15.2.3. Simulación para el análisis de la cadencia.

Se calculan los tiempos de transporte, ida cargado y vuelta vacío de cada uno de los 6 transportes mediante el historial de trabajos del simulador y se obtiene una media de 141,3 segundos por transporte. El resultado obtenido es 10 segundos menor que los 151 segundos por transporte utilizados para el cálculo del dimensionamiento. Se valida la cadencia de la instalación y las velocidades de cada segmento. Con un margen de tolerancia relativamente bajo se afirma que el sistema es capaz en la situación con mayor demanda.

El resto de caminos se validan generando órdenes de la estación de carga de L1 y L2 a todas sus respectivas posiciones de descarga. Así mismo se comprueba los accesos a los puestos de carga automática.

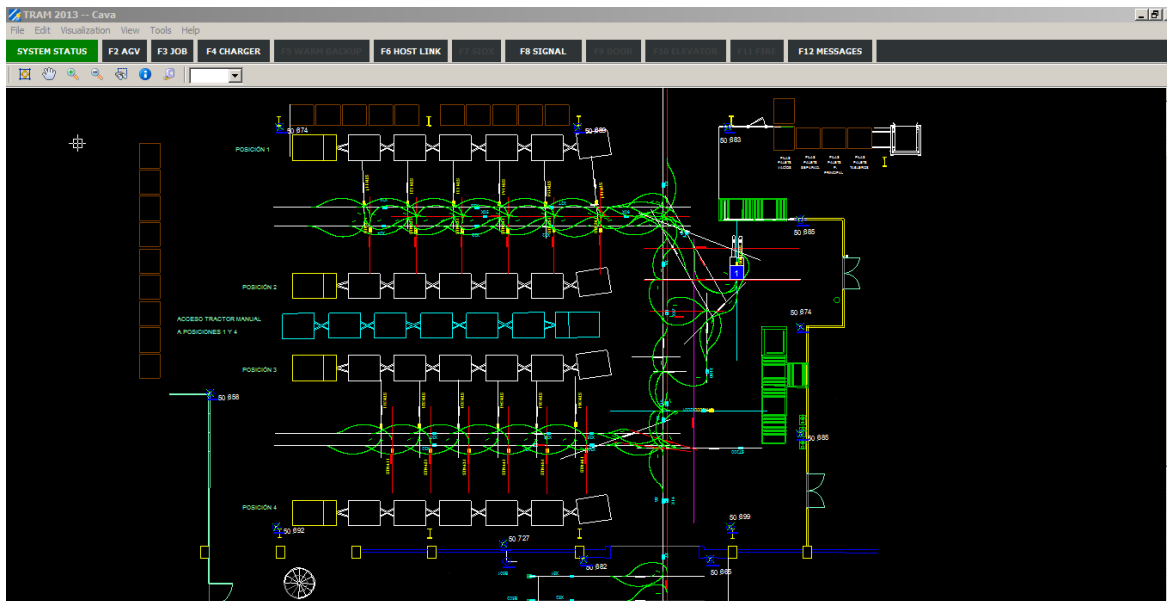
### 15.3. Visualización.

La visualización y la interacción con la instalación a nivel usuario se realiza mediante el paquete TRAMUser. El TRAMUser permite la visualización de todos los AGVs en el layout de la instalación en cualquier momento, así como su estado de carga, trabajo en curso o si tiene algún error.

Es a través de esta aplicación que se empieza y se para la producción, habilitándola y deshabilitándola con un solo botón. También se pueden forzar trabajos manualmente y se pueden poner y quitar de la producción AGVs en concreto, ya bien sea por un mal funcionamiento o por la realización de labores de mantenimiento.

Para activar o desactivar la producción en cada línea de tiraje, basta con habilitar o deshabilitar la estación de carga correspondiente. Esta acción se realiza a través del listado de estaciones de carga y descarga.

El motor de visualización se instala en un servidor a pie de fábrica con una pantalla de 22 pulgadas, ratón y teclado para la interacción del personal con la instalación. Todo ello se protege con un armario de visualización con bandeja extraíble que se ubica al lado del armario CA1.



*Figura 15.2.3. Simulación para el análisis de la cadencia.*

El resto de información sobre el motor de visualización se encuentra en el ANEXO A Descripción Sistema de Control TRAM.

## 16. Seguridades

Uno de los puntos más importantes del proyecto es la seguridad de la instalación. El motivo principal de eliminar la manutención de los packs de botellas por parte del personal ha sido la disminución de los accidentes y, por tanto, un aumento de la seguridad en la instalación. Es por ello que se dota al AGV de la tecnología más puntera en cuanto a seguridad.

El AGV EGV-S20 ha sido diseñado y fabricado en base a las normativas vigentes sobre maquinaria industrial y carretillas de manutención sin operador. La instalación cumple con las normativas siguientes:

UNE-EN 1525:1998 [6]

Seguridad de las carretillas sin operador.

UNE-EN 1526:1998+A1:2008 [7]

Seguridad de funciones automáticas en las carretillas.

UNE-EN ISO 13857:2008 [8]

Seguridad de las máquinas.

A su vez, el robot dispone de un sistema de seguridades basado en una CPU de seguridad SICK Flexi Soft [9] que controla todos los elementos seguros del AGV, ya sean paros de emergencia, escáneres laser de seguridad...

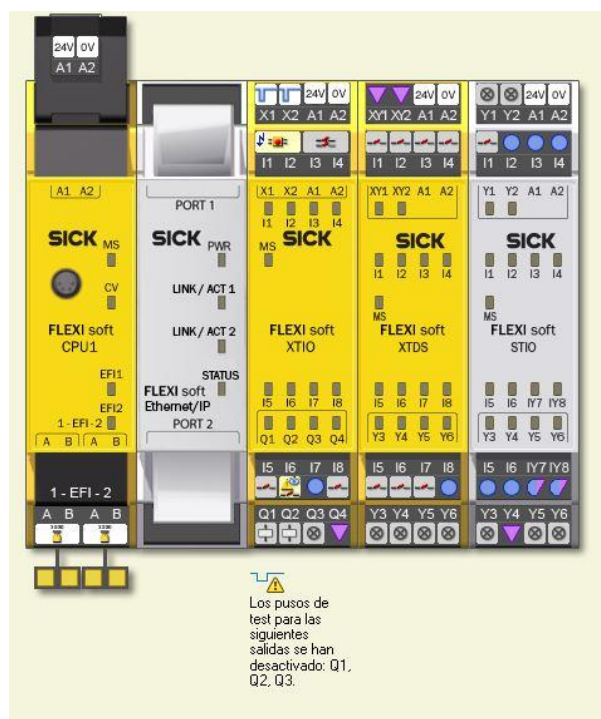


Figura 16.1. Configuración hardware de los módulos de seguridad.

La lógica del control de las seguridades está programada mediante bloques lógicos en el PLC de seguridad:

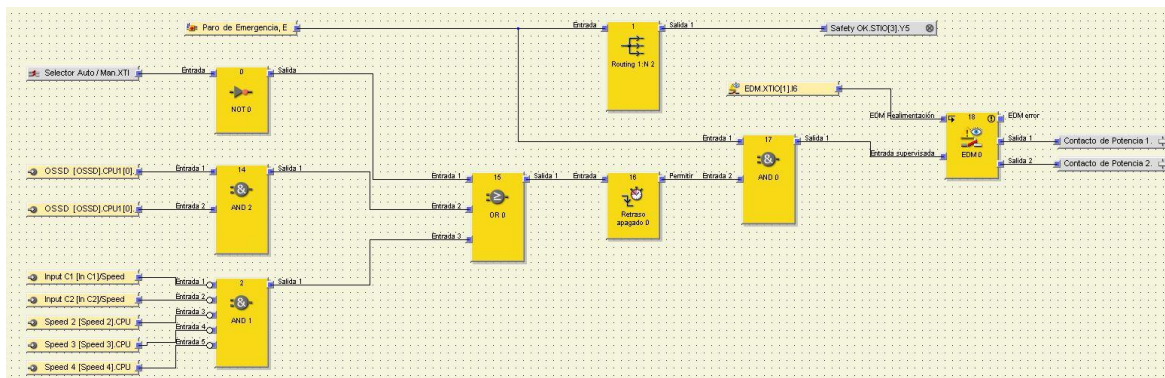


Figura 16.2. Programación de la lógica en las seguridades.

El sistema de seguridad se comunica con el ordenador del AGV vía TCP/IP para el conocimiento de estados entra autómatas, cambio de áreas de los escáneres, etc. Aun así, el sistema de seguridad tiene salidas directas a contactores que gobiernan los variadores de los motores así como los frenos de los mismos, con la finalidad de realizar paros de seguridad. Los paros de seguridad son accionados mediante cualquiera de los tres pulsadores de emergencia que tiene el AGV o si cualquiera de los dos escáneres de seguridad detecta un objeto dentro de su área roja. Las áreas son conmutables y han sido programadas en coherencia con las distintas zonas de la instalación. Por ejemplo, cuando el AGV está descargando en un vagón, el escáner trasero del AGV ha de tener el área más corta para no llegar a ver las ruedas del vagón. En cambio, cuando el AGV va marcha adelante por los pasillos, incorpora dos áreas que se conmutan, acorde con la velocidad que reporta el encoder incremental asociado al motor de dirección. Dicha área toma la medida correspondiente al doble de la distancia de frenado y paro correspondiente a la velocidad superior en ese intervalo de velocidades. El área media está activa desde los 0,11m/s hasta que se superan los 0,45m/s, donde conmuta al área larga.

En todos los casos, además del área roja existe un área amarilla más grande. Si el vehículo detecta cualquier objeto en esa área, reducirá la velocidad hasta 0,2m/s por seguridad.



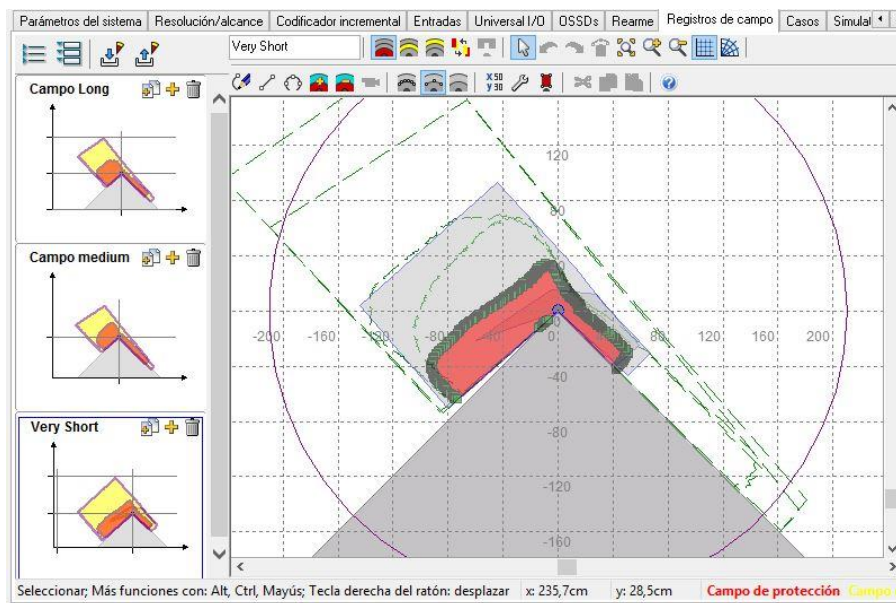


Figura 16.3. Área roja de protección corta del escáner delantero.

La información adicional sobre la configuración de los módulos de seguridad del AGV se encuentra en el ANEXO B Expediente de Seguridad.

## 17. Planificación de la instalación.

A continuación se describen las fases en las cuales se ha estructurado el proyecto. Cada una de dichas fases permite la ejecución del proyecto desde la definición y concepción del mismo hasta la fase de puesta en marcha y cierre. Las fases del proyecto a su vez se encuentran formadas por tareas las cuales permiten estructurar las fases del proyecto.

### 17.1.Fases del proyecto.

Para estructurar la planificación de la instalación de transporte robotizado se han definido un conjunto de tareas las cuales se encuentran agrupadas en las siete fases que se muestran a continuación:

- Fase 1: Oferta.  
Preparación de la oferta.  
Estudio de la oferta por el cliente.
- Fase 2: Aceptación del proyecto.  
Recepción del pedido del proyecto.  
Reunión interna de inicio.  
Reunión con cliente.
- Fase 3: Diseño.  
Estudio del layout y trayectorias.  
Diseño de las modificaciones mecánicas del AGV  
Diseño de los elementos mecánicos para la instalación.  
Diseño del conjunto de entradas y salidas digitales.  
Especificación de los interfaces de comunicación.  
Diseño de los esquemas eléctricos y mecánicos.  
Aprobación del estudio del layout y trayectorias
- Fase 4: Lanzamiento.  
Compra de la máquina STILL EGV-S20  
Compra del kit de automatización AGVE.  
Construcción de los elementos mecánicos de la instalación.  
Compra del material eléctrico
- Fase 5: Preinstalación.  
Modificaciones mecánicas de la maquina STILL EGV-S20.  
Montaje del AGV en las instalaciones Artisteril.  
Pruebas en las instalaciones Artisteril.



Diseño definitivo de las trayectorias y configuración del sistema de gestión de tráfico.  
Simulación de la instalación.

- Fase 6: Instalación y puesta en marcha.  
Envío de material.  
Montaje de los elementos de la instalación en la ubicación definitiva.  
Test de comunicaciones.  
Pruebas y ajuste fino de trayectorias  
Puesta en marcha.  
Seguimiento de la producción.  
Formación al personal usuario y de mantenimiento.
- Fase 7: Aceptación de la instalación.  
Entrega de la documentación definitiva.  
Cierre del proyecto.

Su duración y planificación de puede observar en el siguiente diagrama de Gantt:

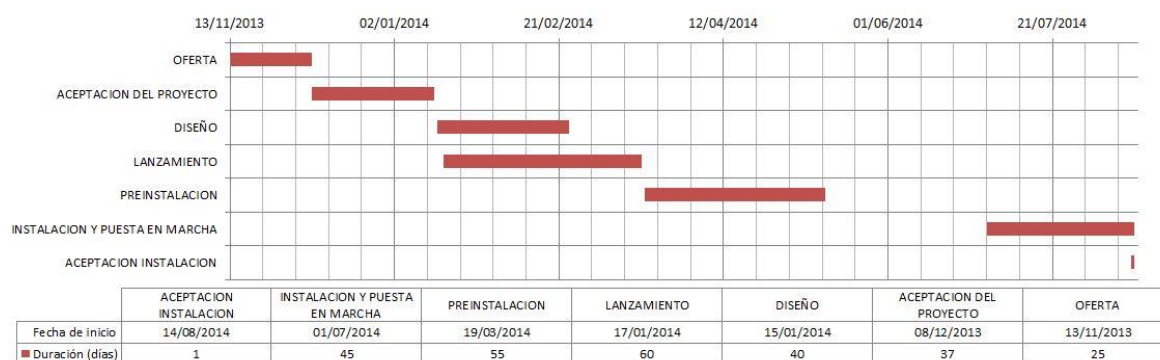


Figura 17.1.1. Diagrama de Gantt fases del proyecto.

### 17.1.1. Oferta.

Se define como el momento en el cual el cliente solicita la oferta a Artisteril de la instalación para el transporte robotizado de botellas paletizadas tipo AGV.

Posteriormente al estudio de la aplicación a desarrollar, se presenta al cliente por parte del departamento comercial la valoración económica de los servicios y productos incluidos en el proyecto. Para realizar la valoración económica del proyecto, el departamento comercial se basa en la mayoría de casos en ofertas de proyectos realizados con anterioridad del mismo tipo de aplicación.

La oferta realizada incluye las partidas que figuran en el estudio económico. (para más información véase Ap. 18, Estudio económico).

La oferta, una vez elaborada, se le hace llegar al cliente para que efectúe el estudio correspondiente.

#### **17.1.2. Aceptación del proyecto.**

Tras el estudio de la oferta, el cliente acepta las condiciones del proyecto y envía el pedido correspondiente junto con el pago del primer plazo de un 30% sobre el precio acordado a facturar. Este hecho marca internamente el inicio del proyecto. Se transmite toda la información del departamento comercial al departamento de ingeniería y proyectos y se procede a establecer una reunión con el cliente para presentarles a los responsables del departamento de ingeniería que han sido asignados al proyecto.

#### **17.1.3. Diseño.**

La fase de diseño de la instalación se inicia con el estudio del layout y de trayectorias de los AGVs. Se realiza también el diseño de las modificaciones mecánicas del AGV y el diseño de los elementos mecánicos de la instalación. Se diseña también el sistema eléctrico y de detección necesario para la instalación. A su vez se define la arquitectura del sistema de comunicaciones.

La finalización de la etapa se da con la aprobación por parte del cliente de la solución adoptada por el departamento de ingeniería de Artisteril.

#### **17.1.4. Lanzamiento.**

En primer lugar se realizan los pedidos de las dos máquinas STILL EGV-S20 y de sus correspondientes kits de automatización.

A su vez se procede a iniciar la construcción de los elementos mecánicos diseñados y de todo el material eléctrico necesario para montar los sistemas de detección y señalización.

#### **17.1.5. Preinstalación.**

Una vez se han recibido todos los elementos y materiales pedidos en la fase de lanzamiento se procede a la preinstalación y prueba en las instalaciones Artisteril. Se testea el vehículo eléctricamente y se realizan pruebas sencillas de navegación y movimiento. Mediante la preinstalación se consiguen dos objetivos. El primero de ellos es la detección de posibles errores cometidos en la fase de diseño o lanzamiento. En segundo lugar se consigue hacer mínimo el tiempo necesario para la instalación en casa del cliente lo cual permite reducir considerablemente los costes inherentes a la puesta en marcha.

### **17.1.6. Instalación y puesta en marcha**

Se inicia dicha fase con el envío de material con la suficiente antelación para poder iniciar la puesta en marcha de los AGVs en la fecha acordada con el cliente. La entrega del material permite el pago por parte del cliente del 60% del precio acordado en la oferta aprobada.

Tras el montaje y cableado de los elementos de campo en la ubicación definitiva, se inicializa el servidor y se realiza un test de comunicaciones del servidor con los AGVs.

Posteriormente se ponen en marcha los AGVs y se realiza un ajuste fino de todas las trayectorias y posiciones de carga y descarga asociadas a ellas de la instalación. Este proceso suele durar bastante tiempo, y de su buena ejecución dependerá el que la instalación de problemas a corto y largo plazo o no.

Finalmente se inicia la producción con los AGVs y se realizan las últimas modificaciones del layout. Tras las últimas modificaciones, se finaliza la instalación y se inicia un seguimiento de la producción que tiene una duración de diez días en casa del cliente. Tras esos diez días, se ofrecen diez más con asistencia remota. Además se realiza la formación tanto de usuario como de mantenimiento al personal que tiene contacto con la instalación, ya sea directo o indirecto.

### **17.1.7. Aceptación de la instalación**

Una vez ha finalizado el seguimiento y la formación, se procede a la entrega al cliente de la documentación definitiva de la instalación.

Tras la aceptación de la instalación por parte del cliente, se cierra internamente el proyecto. Éste es el último acontecimiento y antes del cual se realizan varias acciones como son la facturación del 10% que resta a abonar y el establecimiento de la garantía de los equipos integrados en el proyecto.

## 18. Estudio económico

El siguiente estudio económico se ha realizado para la automatización del transporte de botellas paletizadas desde la salida del tiraje hasta los vagones de los trenes encargados de bajar dichas botellas a las bodegas.

La solución propuesta ha sido la instalación de:

Dos robots Artisteril AGV EGV-S20 con una capacidad de carga de 1800kg y un alcance de 3200mm de altura de tipo carretilla con horquillas para la manutención industrial de palets. La solución propuesta a su vez se complementa con el resto de elementos de campo citados en los Ap.10 y 11, que permiten la automatización del proceso de dicho proceso de transporte.

### 18.1. Alcance del suministro

Artisteril se compromete a suministrar libre de cargos de transporte y en las instalaciones del cliente los siguientes equipos:

1. Dos robots Artisteril AGV EGV-S20 con modificaciones adecuadas.
2. Conjunto de 16 suplementos verticales en madera hidrófuga.
3. Conjunto de 24 guías rectas, 8 guías curvas y 8 guías centrales.
4. Conjunto de 4 resaltes para la parada de los trenes en S235.
5. Conjunto de 16 resaltes para la correcta ubicación de los vagones en nylon.
6. Conjunto de 21 reflectores con 42 abrazaderas para el montaje.
7. Conjunto de 24 sensores fotoeléctricos con sus soportes.
8. Conjunto de 24 reflectores para los sensores con sus soportes.
9. Conjunto de 4 balizas de 6 LEDs verdes.
10. Conjunto de 3 semáforos de dos colores.
11. Girofaro de error en la instalación.

12. Conjunto de dos estaciones de carga automáticas formadas por un cargador, dos patines de carga y dos cables de potencia de 4m, con un armario de distribución.
13. Conjunto de dos intercambiadores para cambio rápido de baterías.
14. Batería AGV extra.
15. Armario de control de la instalación con todos los componentes necesarios.
16. Servidor con pantalla, ratón y teclado con armario de visualización.
17. Mangueras, suptación y bandeja para el pasado de cables y el conexionado de todos los elementos de campo al armario de control.
18. Instalación, programación y puesta en marcha de los AGVs y los elementos citados anteriormente así como el seguimiento durante 10 días laborables y la formación al personal de fábrica.

## **18.2. Test de aceptación.**

- El test final se realizará una vez completado el suministro, su puesta en marcha, programación y seguimiento durante la fase de producción.
- En cualquier caso se considerará aceptado el suministro, transcurrido dos meses desde la fecha de suministro de materiales, si por causas no imputables a Artisteril, no se hubiera podido realizar la prueba de aceptación.
- El test de aceptación será ejecutado en presencia de personal técnico de ambas partes.

## **18.3. Asistencia**

Si es solicitado, cualquier asistencia técnica extra respecto a la instalación, puesta en marcha y programación más allá de lo pactado en la oferta, será suministrado por el personal de servicio técnico, el cual se facturará separadamente.

Se garantiza la asistencia técnica a través de los departamentos de Servicio Exterior de Sabadell.

A su vez existe la posibilidad de negociar contratos de mantenimiento preventivo mecánico, eléctrico, así como de asistencia técnica telefónica.

## **18.4.Límites del suministro.**

Esta propuesta está limitada exclusivamente al suministro de los artículos especialmente mencionados en este documento. Cualquier otra cosa que no figure en la misma, se entiende que está excluido.

Las exclusiones incluyen:

- Obra civil.
- Transporte dentro de las instalaciones de la ubicación definitiva.
- Acometidas de todos los servicios auxiliares y de potencia (alimentaciones eléctricas, señales de interconexión, etc.) hasta los puntos de conexión situados a pie de los equipos suministrados.
- Modificaciones o ajustes que fueran necesarios realizar en maquinaria o equipos propiedad del cliente, tanto mecánicos como eléctricos, salvo que se acuerde expresamente por escrito.

## **18.5.Plazos de entrega.**

6 Meses tras la formalización del pedido, correctamente cumplimentado.

## **18.6.Garantía**

La garantía incluye la calidad y funcionamiento de los equipos y servicios incluidos en el proyecto, por periodo de 12 meses tras la aceptación de la instalación por parte del cliente, siempre y cuando tales equipos hayan sido utilizados en condiciones normales de trabajo, según sus características y especificaciones de uso. Por lo tanto la garantía no se extiende a cualquier avería o defecto que sea consecuencia de una utilización, conservación o manejo defectuoso, o por modificaciones introducidas en los propios materiales sin una aprobación escrita por parte del personal de Artisteril.

En caso de fallo durante el periodo de garantía, salvo si se cumple alguna de las limitaciones mencionadas anteriormente, los materiales y mano de obra requerida para las reparaciones serán suministradas libres de gastos.

## 18.7.Oferta económica.

Los precios de los productos y servicios anteriormente mencionados son de:

<b>264.172 €</b>
------------------

Condiciones generales:

El precio cotizado se entiende neto en euros, sin IVA.

## 18.8.Condiciones de pago.

La forma de pago será la siguiente:

- 30% del precio final a la recepción del pedido.
- 60% a la entrega de los equipos.
- 10% a partir de la aceptación de la instalación por parte del cliente.

## 18.9.Presupuesto.

	Partidas	Cantidad	Precio Unitario	TOTAL
1	AGV STILL EGV-S20, Guiado Laser	2	62.500 €	125.000 €
2	Sistema de Carga de Baterías Automático	2	3.525 €	7.050 €
3	Batería AGV extra	1	1.365 €	1.365 €
4	Intercambiador de Baterías Manual	2	856 €	1.712 €
5	Reflectores	21	78 €	1.638 €
6	Instalación Eléctrica	1	8.066 €	8.066 €

7	Conjunto de señalización: Semáforos, Sensores, Balizas, Girofaro	1	8.630 €	8.630 €
8	Servidor, Software de Control, Armario	1	32.453 €	32.453 €
9	Armario de control	1	11.875 €	11.875 €
10	Suplementos verticales para vagones	24	760 €	18.240 €
11	Conjunto de Guías Mecánicas y Resaltes	4	1.832 €	7.328 €
12	Ingeniería (horas)	120	90 €	10.800 €
13	Instalación y puesta en marcha (horas)	128	75 €	9.600 €
14	Seguimiento de producción (días)	10	280 €	2.800 €
15	Formación (horas)	9	60 €	540 €
16	Dirección del Proyecto, Reuniones de seguimiento (horas)	80	90 €	7.200 €
17	Viajes, desplazamientos y dietas	1	9.875 €	9.875 €
	<b>TOTAL</b>			<b>264.172 €</b>



## 19. Impacto económico y retorno de inversión.

Para realizar el estudio del impacto económico y del retorno de inversión se comparan la situación productiva con transporte robotizado y con transporte manual.

### 19.1.Desglose de costes.

Para la opción con AGVs se considera un coste inicial del proyecto de 264.000€ obtenido en el Ap. 18.9. Así mismo se consideran también costes anuales referentes a mantenimientos, asistencia técnica telefónica y presencial, y recambios de piezas.

Para la opción manual se tiene en cuenta que el trabajo objeto de estudio es realizado por un trabajador de forma íntegra. También se tiene en cuenta que se trabaja a dos turnos. La carretilla utilizada en la opción manual se considera amortizada y es por eso que no se contemplan costes en referencia a ello.

Se obtienen los siguientes datos de partida:

ANÁLISIS INVERSIÓN AGV				
OPCIÓN AGV - DESGLOSE COSTES				
	CANTIDAD	IMPORTE UNITARIO	IMPORTE TOTAL	COMENTARIOS
<b>IMPLANTACIÓN SISTEMA DE AGV'S</b>				
Nº de Vehículos	2	132.000 €	264.000 €	
<b>MANTENIMIENTO</b>				
Piezas de recambio anuales por vehículo/año	2	500 €	1.000 €	Anual
Mantenimiento Preventivo, 2 Revisiones al año	2	1.000 €	2.000 €	Anual
Contrato Mantenimiento Telefónico	1	300 €	300 €	Anual
Mantenimiento Correctivo	2	500 €	1.000 €	Anual
			4.300 €	
OPCIÓN MANUAL - DESGLOSE COSTES				
Personal por turno	1	Personal necesario por turno para movimiento cargas		
Turnos de trabajo	2	Mañana, tarde		
Personal TOTAL Necesario	2			
	CANTIDAD	IMPORTE UNITARIO	IMPORTE TOTAL	COMENTARIOS
Coste Personal Necesario	2	40.000 €	80.000 €	Anual

### 19.2.Impacto económico.

Se realiza un estudio del impacto económico del proyecto con un periodo de explotación de 10 años. Se compara con el impacto económico de la opción manual.

EXPLOTACIÓN A 10 AÑOS										
OPCIÓN AGV										
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión inicial	264.000 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coste Piezas de Recambio/año	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €
Coste Mantenimiento/preventivo	2.000 €	2.000 €	2.000 €	2.000 €	2.000 €	2.000 €	2.000 €	2.000 €	2.000 €	2.000 €
Mantenimiento Telefónico	300 €	300 €	300 €	300 €	300 €	300 €	300 €	300 €	300 €	300 €
Mantenimiento Correctivo	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €	1.000 €
TOTAL	268.300 €	4.300 €	4.300 €	4.300 €	4.300 €	4.300 €	4.300 €	4.300 €	4.300 €	4.300 €
ACUMULADO	268.300 €	272.600 €	276.900 €	281.200 €	285.500 €	289.800 €	294.100 €	298.400 €	302.700 €	307.000 €
OPCIÓN MANUAL										
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión inicial	0 €	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coste de Personal	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €
TOTAL	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €
ACUMULADO	80.000 €	160.000 €	240.000 €	320.000 €	400.000 €	480.000 €	560.000 €	640.000 €	720.000 €	800.000 €

### 19.3.Retorno de la inversión.

Utilizando los datos del estudio del impacto económico en el Ap. 19.2 se realiza el cálculo del retorno de la inversión, comparando el impacto económico de la opción automatizada y la manual, que es la que hasta ahora se ha utilizado.

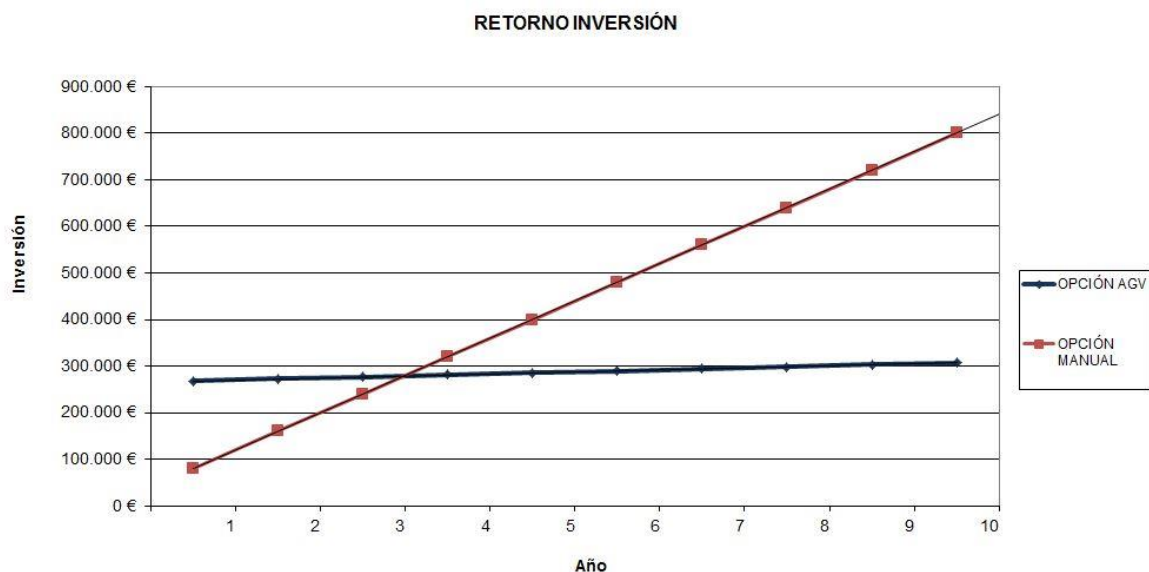


Figura 19.3.1. Gráfica inversiones opción AGV y opción Manual vs tiempo.

Se obtiene un retorno de la inversión a lo largo del mes 6 del año 4 desde la puesta en marcha de la instalación. No se trata de un retorno de inversión muy atractivo, pero como se ha comentado a lo largo del proyecto, la rentabilidad económica no es el único factor que se ha tenido en cuenta para la realización del proyecto. El incremento de la calidad del

proceso productivo y de la seguridad en el mismo son difícilmente cuantificables pero no por ello son factores menos importantes.

## 19.4.Propuesta de financiación.

Se realiza una propuesta de una posible financiación del proyecto a 8 años con un interés anual del 8% con mantenimiento y asistencia técnica incluidos:

FINANCIACIÓN A 8 AÑOS CON MANTENIMIENTO INCLUIDO										
Coste inversión a 8 años con mantenimiento incluido						298.400 €				
Interes anual						8%				
Coste anual Financiación						49.236 €				
Coste mensual Financiación						4.103 €				
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AGV	49.236 €	49.236 €	49.236 €	49.236 €	49.236 €	49.236 €	49.236 €	49.236 €	4.300 €	4.300 €
ACUMULADO AGV	49.236 €	98.472 €	147.708 €	196.944 €	246.180 €	295.416 €	344.652 €	393.888 €	398.188 €	402.488 €
MANUAL	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €	80.000 €
ACUMULADO MANUAL	80.000 €	160.000 €	240.000 €	320.000 €	400.000 €	480.000 €	560.000 €	640.000 €	720.000 €	800.000 €
AHORRO	30.764 €	30.764 €	30.764 €	30.764 €	30.764 €	30.764 €	30.764 €	30.764 €	75.700 €	75.700 €
AHORRO ACUMULADO	30.764 €	61.528 €	92.292 €	123.056 €	153.820 €	184.584 €	215.348 €	246.112 €	321.812 €	397.512 €

Con la financiación se obtiene un ahorro desde el año 0 del proyecto:

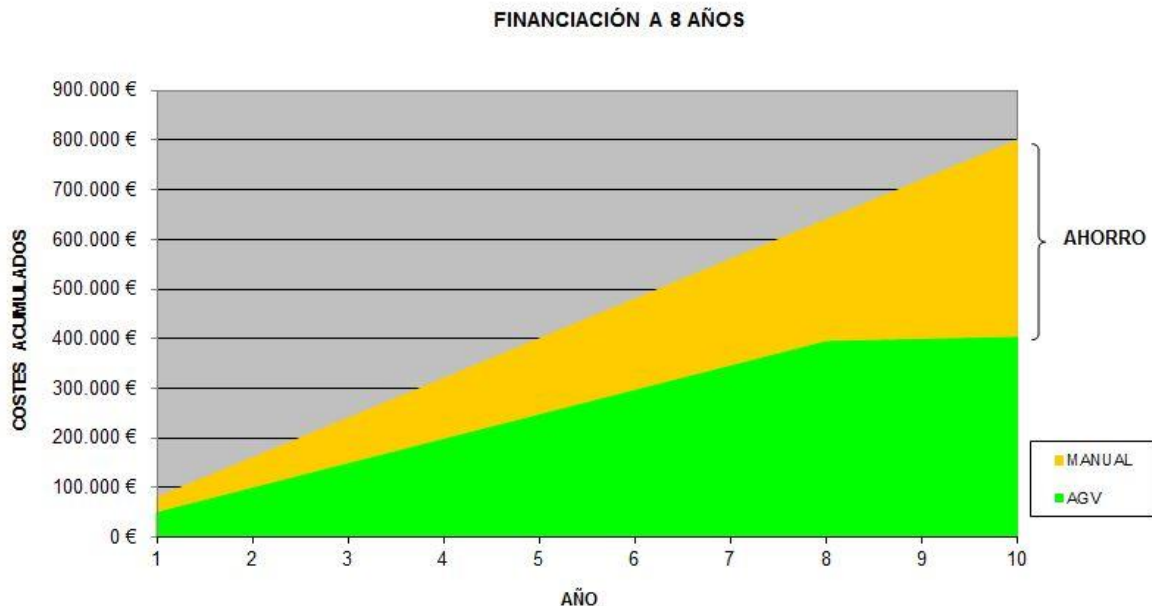


Figura 19.4.1. Gráfica costes acumulados opción AGV con financiación y opción Manual vs tiempo.

## **20. Impacto ambiental de los elementos de la instalación.**

El siguiente análisis del impacto ambiental de los elementos de la instalación hace referencia al AGV, al armario de control y al resto de elementos de campo.

### **20.1. Impacto ambiental del robot Artisteril AGV EGV-S20.**

Para realizar el estudio ambiental del AGV es conveniente analizar qué entra en el sistema (en este caso al AGV) y qué sale de él.

El robot únicamente es alimentado con electricidad. Como salidas del sistema únicamente se pueden considerar las salidas de material o sustancias contaminantes provenientes de los elementos intrínsecos al propio robot.

Dichos componentes o sustancias peligrosas medioambientalmente únicamente deben considerarse como tales cuando sea necesario la realización de una reparación o labores de mantenimiento.

### **20.2. Materiales en los cuales han sido fabricados los elementos de la instalación.**

Los componentes de los elementos de la instalación han sido fabricados en diferentes tipos de materiales. Algunos de ellos aparecen listados a continuación a fin de facilitar el desguace.

**20.2.1. Robot Artisteril AGV EGV-S20.**

MATERIAL	COMPONENTES
Plomo	Baterías.
Dióxido de Plomo	Baterías.
Acido sulfúrico	Baterías.
Cobre	Cables, motores.
Hierro fundición nodular	Chásis, mástil.
Acero	Engranajes, tornillos, horquillas, etc..
Plástico / goma (PVC)	Cables, motores, etc..
Aceite, grasa	Cajas reductoras, circuito hidráulico.
Aluminio	Soportes escáneres laser.
Samario-Cobalto	Frenos, motores

**20.2.2. Armario de control.**

MATERIAL	COMPONENTES
Cobre	Transformadores, cables.
Estaño	Cables.
Acero Galvanizado	Placas cuadro eléctrico.
Poliéster	Tarjetas de ciurcuitos
Plástico / goma (PVC)	Cables, conectores, etc..
Hierro	Transformadores.

**20.2.3. Elementos de campo**

MATERIAL	COMPONENTES
Acero	Guías, resaltes, soportación de elementos, tornillería, bandeja, etc..
Cobre	Cables, patines de carga.
Acero Galvanizado	Abrazaderas reflectores.
Madera hidrófuga	Suplementos verticales.
Plástico / goma (PVC)	Cables, conectores, reflectores, balizas, girofaro, semáforos, etc..
Nylon	Resaltes, patines de carga.

### **20.3. Procedimiento para el desecho de materiales o sustancias peligrosas.**

Cuando sea necesario realizar el desecho de sustancias contaminantes como grasas, aceites o las baterías, se deberá procurar tomar las medidas necesarias para su reciclaje. Para ello, se deberá acudir a un contratista o persona autorizada que, de acuerdo con las normativas locales procederá a su recogida y posterior tratamiento.

### **20.4. Componentes con requerimientos especiales antes de ser desechados.**

El AGV sólo necesita un tratamiento especial en el desmantelamiento y desecho de sus motores. Dichos motores se encuentran equipados con frenos, los cuales disponen de muelles comprimidos.

Por consiguiente se hace necesario tener en cuenta antes de su desmantelamiento que el muelle puede dispararse y provocar algún daño a las personas que pudieran encontrarse cerca del mismo.

## Conclusiones

Como conclusión final, se puede extraer que todos los objetivos inicialmente marcados han sido alcanzados satisfactoriamente.

Los dos AGVs son operativos durante dieciséis horas al día y cinco días a la semana, siendo capaz de realizar los transportes completos en menos de 150 segundos en cualquier caso, lo cual permite obtener una productividad media de 685 transportes diarios con las dos líneas funcionando a plena capacidad.

Se puede afirmar también que se ha realizado una integración del transporte robotizado de forma respetuosa con la instalación original, las modificaciones que han sido necesarias han sido implementadas con un diseño que respeta técnica y espacialmente la instalación del cliente.

Tras la finalización del seguimiento inicial en producción de la instalación de transporte robotizado, el cliente, a día 14 de Agosto de 2014, aceptó la instalación. Desde entonces no se ha reportado ningún accidente en la instalación ni se han tenido que lamentar daños materiales o personales.

El sistema de transporte robotizado a su vez pasó un proceso de certificación el día 17 de Septiembre de 2014 el cual fue realizado por la empresa Codorniu la cual mostró su completa aprobación otorgando la máxima calificación posible al proceso productivo realizado.





## Lista de referencias.

- [1] STILL GMBH. *EXV/EGV Technical Data*. Hamburg, 1974, p. 12.
- [2] STILL GMBH. *Workshop manual EGV-S 14/20 Pedestrian straddle stacker with driver's platform*. Hamburg, 2003.
- [3] OM CARRELLI ELEVATORI S.P.A. *Aggiornamento carrello per adeguamento alla nuova direttiva macchine 2006/42/CE*. Lainate, 2010, p. 8-20.
- [4] JONG, *Ansys 3D Linear Static Structural Analysis*. UK, 2014. [<http://finitecad.com/ansys-tutorial-beginners/>].
- [5] AGV ELECTRONICS, *AGV Cookbook Layout Definition Kit Rev 2013-09-25*. Sweden: 2013, p. 4-20.
- [6] ELBER, S, *TRAM Description V.Tram2010B*, Austria. 2010.
- [7] AENOR. *Seguridad de las carretillas de manutención. Carretillas sin operador y sus sistemas. Norma UNE, de la Norma Europea EN 1525*, 1998.
- [8] AENOR. *Seguridad de las carretillas industriales. Requisitos adicionales para las funciones automáticas en las carretillas. Norma UNE, de la Norma Europea EN 1526*, 2008.
- [9] AENOR. *Seguridad de las máquinas. Distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores e inferiores. Norma UNE, de la Norma Europea EN 13857*, 2008.
- [10] SICK AG. *Flexi Soft, Controlador de seguridad con ventajas inteligentes*. Waldkirch, 2013.